建物高さ変化による密集街区の風通しの改善に関する風洞実験

WIND TUNNEL EXPERIMENT ON THE BUILDING HEIGHT DESIGN TO IMPROVE THE VENTILATION RATE IN A BUILT-UP AREA

成田健一 ---- * 1

キーワード:

ヒートアイランド、蒸発、物質伝達率、換気効率、建物周辺気流

Keywords:

Heat island, Evaporation, Mass transfer coefficient, Ventilation rate, Air flow around building

Ken-ichi NARITA ---- * 1

In densely built-up area, the wind in the canopy layer is very weak, that causes the discomfort condition at the pedestrian level. In this paper, the possibility to improve the ventilation rate by changing the building height locally was investigated using the wind tunnel experiments. The ventilation rate in the narrow street was estimated by the mass transfer velocity in canyon wall that was measured by the originally devised water evaporation technique using filter paper. It was found that only small height change of wing-end building leads to the remarkable increase of ventilation rate over the whole traverse path.

1. はじめに

ヒートアイランド対策の一つとして、「風通し」の良い街づくりが 叫ばれており、特に沿岸都市においては、夏季日中に冷涼な海風を 市街地奥深くまで導く河川が「風の道」として注目されている。し かしながら、このような風の道の効果は海岸線から数キロの範囲で しか期待できず、東京のような大都市ではこの種の平面的な風の道 の効果には限界がある。一方、夜間の斜面冷気流などとは異なり、 日中の海風は数百mの厚さがあり、海岸から遠く離れた市街地の上 空にも冷却ポテンシャルを有する風が存在している。従って、この ような上空の冷風を利用する3次元的な風利用を考えることも、有 効なヒートアイランド対策になりうると考えられる。

空気力学的な観点からは、建物群の存在は「粗度」すなわち空気抵抗の増大であり、街区の風通しを妨げるものとされる。地表面近くの風は、エリア平均で見ると、ほぼグロス建蔵率の増加に伴って弱くなる、という風洞実験結果も報告されている¹゚。しかしながら、平均風速が減少する一方、地表近くの乱流強度は増大しているはずであり、一概に熱拡散も妨げられているとは結論できない。伝熱工学の分野では熱交換器の設計において、流れに対する抵抗は増やさず、熱交換だけを促進するような構造が追及されているが、都市についてもそのような構造が存在しうる可能性がある。

以上のような背景をふまえ、本報では建物高さの変化に着目し、密集市街地の局所的な建物高さ変化が、どの程度エリア内の街路空間の「風通し」を改善しうるかを、濾紙面水分蒸発を利用した独自の風洞実験で検討した。

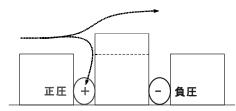


図1 考察対象とした風诵し改善策の概念図

2. 実験方法

今回考察した実験ケースは、密集街区の一部の建物について高さ を増すことで局所的に細街路に正圧域と負圧域を作り出し、風向に 直交する細街路の「風通し」を向上させるというものである(図1)。

高さ (H) 50mm の立方体を組み合わせ、図2に示す街区を設定した。考察対象とした街区は、周囲をアスペクト比 W/H=2.5 (W:街路幅) の街路で囲まれた密集街区で、風向と直交する方向に細街路 (W/H=1/2)を設けている。この種の風洞実験では、対象建物配列の風上部分10H程度までは粗度の急変による影響が大きく、遷移的な流れ場となる。そのため、周囲にも同様の街区を計5×5列配置し、その中央ブロックを測定対象として実験を行った(図4参照)。

風通しの評価には、細街路に面した建物壁面の伝達率を用いた。 アクリル製の建物模型に厚さ1mmの濾紙(ADVANTEC No. 324)を貼り付け、濾紙の側面を防水処理して測定面とした。これに十分水を含ませた後30分間風洞中に置き、その間の蒸発量を電子天秤(表示精度0.1mg)で測定した。秤量中は試料を密閉できる容器に入れ、その間の蒸発を防いでいる。蒸発面の温度は、濾紙の表面直下にサーミスタ温度計(1mmφ)を挿入して測定した(図3)。これらとアプロー

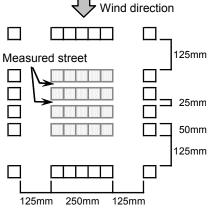


図2 測定対象街区の概要と模型配列状況

^{*1} 日本工業大学建築学科 教授・工博 (〒 345-8501 南埼玉郡宮代町学園台 4-1)

Prof., Dept. of Architecture, Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.

チフローの温湿度の測定から物質伝達率を求めた。なお,本報では,物質伝達率を以下の輸送速度で表す。

$$Wt = E / (\rho s - \rho a)$$
 ①

ここで **Wt**は物質輸送速度 [m/s], E は蒸発のフラックス [kg/(m²·s)], ρ s と ρ a は各々蒸発面の飽和絶対湿度 [kg/m³] とアプローチフローの絶対湿度 [kg/m³]を表す。なお、本報で用いる基本建物模型は透明アクリル 1mm 厚製の一辺 50mm の立方体で、濾紙を含めた模型全体を秤量している。総重量は約 35g である。

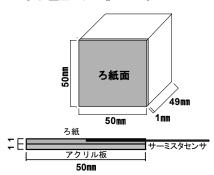


図3 伝達率の測定に用いた試料

空気側の温湿度は、表面温度と同じサーミスタ温度計ならびに容量型湿度計を用いて測定域の風上側、高さ25mmで測定しており、測定日の天候による温湿度条件の変化をキャンセルするため、風上位置に同サイズの立方体を置き、その屋根面の伝達率を常時同時測定した(図4参照)。以下、この値を「風上基準(**Wto**)」と呼ぶ。

今回使用した風洞は、飛島建設技術研究所が所有する密閉回流型境界層風洞で、測定洞は幅 2.6m・高さ 2.0m の断面をもつ。吹出口直後のスパイヤーおよび約 16m の範囲に配列した立方体粗度要素により、べき指数 α = 0.22、境界層厚さ \Rightarrow 20H、乱れの強さは模型高さ以下の平均で 0.15 となる境界層を発達させた。実験風速は境界層上端で原則 3m/s とし、一部は風速変化による影響をチェックするため 8m/s で測定を行った。

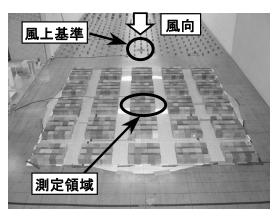


図4 風洞内における模型配列状況と基準点の位置

この濾紙面水分蒸発法は、複雑形状を有する都市構成面における 熱伝達率の把握を目的に考案されたものである²⁾が、測定される物 質伝達率は近傍空間の気流性状を強く反映している。もし風速を指 標に街路空間の風通しを評価しようとした場合、街路内風速は非常 に局所性が強いため多点での風速測定を余儀なくされるが、伝達率 による評価では測定対象部分の空間平均値が容易に得られる。また、PIV などの手法は別として、熱線風速計など通常の風速測定では狭い街路空間に風速計のプローブを挿入することになり、それによる気流の乱れが避けられないが、濾紙水分蒸発法ではこのような心配もない。一般に、表面からのスカラーフラックスは、近傍の気流場に加え、表面近傍に形成されるスカラー境界層の影響も受ける。空間内の拡散能が小さい場合は表面近傍のスカラー濃度が高くなり、表面からのフラックスが減少する。現在、ヒートアイランド対策として街路空間の「風通し」が注目される理由は、快適性の悪化など様々な弊害をもたらす街路空間における「熱溜まり」の解消である。伝達率は空間の拡散能を直接反映する指標であることから、その意味でも「風通し」の良い指標になると考えられる。以上のような観点から、汐留の高層ビル群による風下街区における風環境変化の評価に応用された結果がすでに報告されている30。

3. 均一高さ街区における伝達率分布

高さ変化の実験に先立ち、設定したプロック街区における均一高 さにおける伝達率の分布を検討した。今回測定対象としたのは、評 価街路に面した建物壁面である。技術的には地表面(街路床面)を 測定することも可能であるが、蒸発量測定精度の確保の観点から今 回は試料面が大きい壁面を選択した。結果を図5に示す。図中の数 値は、各地点の Wt を基準点の値 Wtoで除した比を表わしている。 気流方向の変化に注目すると、広幅員の周囲道路に面する1列目の 値が大きく、2~4列の変化は小さい。気流と直交方向の変化では、 やはり周囲道路に近い両端部分で値が大きく、ブロックの中央部で 値が小さくなっている。ただし、ブロックの風下面にあたる広幅員 周囲道路に面した風下面だけは、両端で小さく中央部で大きくなる 分布となっている。風向と直交する2次元街路空間の伝達率を検討 した風洞実験²⁾ によれば、W/H が1以下となると壁面の伝達率が急 激に小さくなる。今回の配列でもブロックの中心部分は最大値を示 すブロック風上端部の半分程度となっており、ブロック街区内に設 定された細街路は「風通し」の悪い状況にあると判断できる。

次節では、この値をベースに、建物高さの変化による伝達率の変化を検討する。

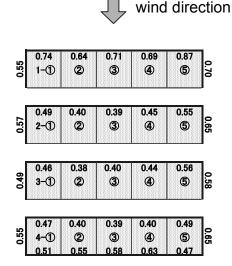


図5 均一高さ配列における壁面伝達率の分布

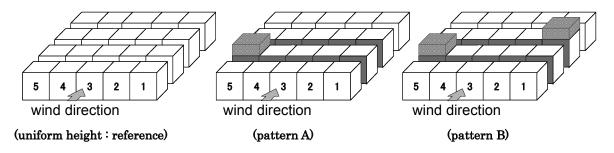


図6 検討対象とした建物高さ変化のパターン

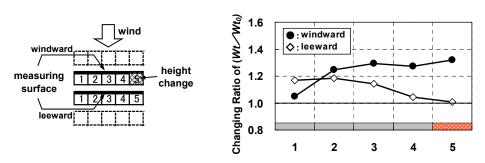


図7 1 箇所を 1.1H に嵩上げした場合の風上側・風下側街路における伝達率の変化比

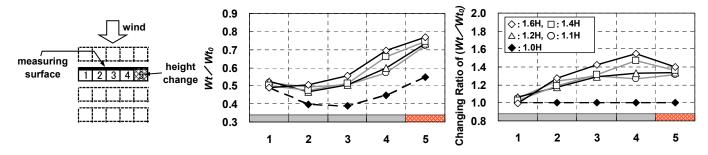


図8 1箇所を嵩上げした場合の風上側街路における伝達率の分布と伝達率変化比の分布(嵩上げ高を変化させた場合)

4. 建物高さ変化による伝達率の変化

図6に、今回検討対象とした建物高さ変化のパターンを示す。ここでは、2列目の端部を嵩上げしたケース(pattern A)と、さらに3列目の反対側の端部も嵩上げしたケース(pattern B)の2種類について検討した。なお、嵩上げの高さは、5mm, 10mm, 20mm, 30mmの4種類について実験を行った。伝達率の測定は、嵩上げした建物の風上側と風下側の細街路の風下側壁面(建物の風上側前面)について行った。なお、伝達率の測定は、測定対象とした面のみを濡れ面とし、その位置を順次移動させて測定している。従って、スカラーのソースは測定対象面のみという条件での測定である。

4.1 1箇所で建物を嵩上げした場合の影響(pattern A)

風上から2列目の端部(5番の位置)を+5mm(1.1H)とした場合の結果を図7に示す。縦軸は、図5に示した均一高さ配列における伝達率比(**Wt / Wto**)に対する変化比を表している。嵩上げした建物の風上側細街路では、吹き降ろし気流(正圧)の発生により街路の大半部分で2~3割の増加が生じている。嵩上げした反対側の端部(1番の位置)で変化が小さいのは、周囲街路に近い端部では、基準とした均一高さ配列においても **Wt** が元々大きかったこと、この位置では周囲街路からの流入で **Wt** が大きかったのに対し、嵩上

げによる正圧の発生で周囲街路に流出する向きに圧力が生じ、両者 の流れが拮抗する方向に作用したためと考えられる。

一方、嵩上げ建物の風下側細街路では、逆に反対側の端部から中心にかけて2割弱の増加が認められる。これは嵩上げ部による負圧域の形成により、反対側から細街路への流入が促進されたためと考えられる。以上のように、直交する細街路の端部をわずかに嵩上げしただけで、風上側・風下側の両方の細街路内に流れ場を発生させ、特に元々風通しが悪かった中央部の状況を改善する結果となった。

図8は、嵩上げする高さを変化させた場合の比較を、風上側の細街路について示したものである。ここでは、伝達率比(Wt/Wto)そのものの変化と、それを図7同様、変化比に直した場合の両方を表示した。変化比の街路内での分布パターンは、嵩上げ高さを変化させても大きくは変わらないが、+20mm(1.4H)以上では、嵩上げ位置の隣(4番の位置)での増加が顕著となる傾向が見られる。ただし、予想に反して嵩上げ高を5mm以上高くしても、必ずしも嵩上げ高に比例した変化比の増大は見られてない。従って、わずかの高さ変化の有無が街路空間の風通しを左右しているといえる。

なお図は省略するが、図7の風下側街路に関しては、嵩上げ高さ を変化させても、伝達率変化比の値はほとんど変わらなかった。

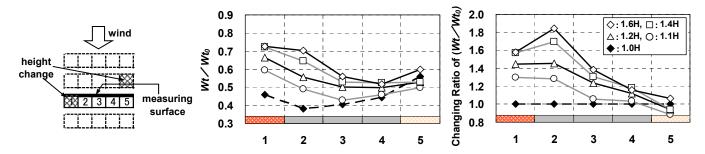


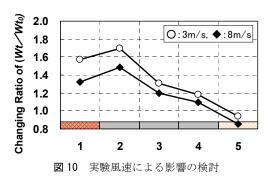
図9 2箇所を嵩上げした場合の街路における伝達率の分布と伝達率変化比の分布(嵩上げ高を変化させた場合)

4.2 2箇所で建物を嵩上げした場合の影響(pattern B)

次に、pattern Aの条件に加え、3列目の反対側端部も嵩上げし、正圧と負圧の相乗効果をねらったケースについて考察する。結果を図9に示す。1箇所のみを嵩上げした場合の風上側・風下側のいずれに対しても変化比の増加率は大きくなっており、相乗効果が明確に認められた。また図8とは異なり、嵩上げ高さに従って伝達率変化比が明確に増大する結果となっている。+20mm(1.4H)以上では、5割を超える増加となっており、街路空間の風通しが大きく改善していることがわかる。ただし、増大が著しいのは、風下側の建物を嵩上げし正圧部としたエリア付近(1番と2番の位置)で、風上側を嵩上げして負圧部としたエリア(5番の位置)ではほとんど変化が無い。これは、前節でも述べたように、細街路内で圧力差の発生により1番→5番の流れ場が発生したため、正圧側では同囲街路からの流入が促進されて風通しが改善されたが、負圧側では元々の周囲街路から流入しようとする流れを打ち消す方向に流れ場が形成されたためと考えられる。

5. 実験風速による影響

最後に、今回の実験における風速の影響について述べる。図 10 は、図 9 の 1.4H のケースを対象に風速 3m/s と 8m/s の変化比を比べたものである。弱風条件の方が全体としてやや変化比が大きくなっているが、街路内の分布パターンはほぼ同様の結果となっている。



6. まとめ

濾紙水分蒸発法による物質伝達率測定という手法を応用し、建物 高さの変化により密集街区の風通しを改善する手法について風洞実 験で考察した。その結果、わずかの高さ変化により細街路内に圧力 分布が発生し、街路の風通しを大きく改善できる可能性が示唆され た。本実験のアイディアは、河川上を遡上する冷気を直交する街路 に誘導するための建物配列の検討から発想したもので、街路に沿っ た建物高さが冷気の誘導に大きく影響していた4)。

海風の3次元的利用あるいは都市の換気効率の向上という観点から、近年建物高さのバラツキの効果が注目されている。筆者らは塩分濃度法を用いた風洞実験により建物の高さのバラツキがエリア平均のスカラー伝達率を増加させることを報告している50が、最近は熱拡散の観点からの検討60、抗力係数70やそれとバルクスカラー係数との関係80も検討されている。

今回の検討ケースは非常に限られたものであるが、建物高さ変化の重要性を示すことはできたと思われる。今後は、より現実的な「風の道」の設計指針の提案に向け、可視化実験等による確認も含めたさらなる検討が必要である。本報の結果を踏まえ、より具体的な街路形状について、PIVによる可視化実験を現在すすめている⁹⁾。

最後に、実験・解析に際しては、松田 厚・鈴木直人の両名に多 大な御協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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 529, pp. 109~116, 2000.3
- 2)成田健一, 野々村善民, 小笠 顕: 都市表面における対流物質伝達率に関する風洞実験-都市域における建物外表面対流熱伝達率に関する実験的研究(その2), 日本建築学会計画系論文集527, pp.69~76, 2000,1
- 3)成田健一: 汐留エリアの高層ビル群による風環境の変化に関する風洞実験, 日本建築学会技術報告集 24, pp. 237~240, 2006. 12
- 4)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報告集 442,pp.27~35,1992.12
- 5)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(続報),日本建築学会計画系論文報告集 366,pp.1 ~11. 1986.8
- 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 627, pp. 661~667, 2008. 5
- 7) 萩島 理,谷本 潤,永山浩二,古賀正浩:高さの分布のある直方体粗度 群の抗力係数に関する風洞実験,日本建築学会環境系論文集 619, pp. 39~ 45,2007.9
- 8) 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ー係数に関する風洞模型実験, 日本建築学会環境系論文集 632, pp. 1225~1231, 2008.10
- 9)大橋征幹, 鍵屋浩司, 成田健一:建物高さによる街路内の気流性状の変化に関する風洞実験,日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.871~872, 2008.9

[2009年6月18日原稿受理 2009年9月8日採用決定]