市街地模型を用いた対流伝達率の測定と風通しの評価

森岡 勲*

Wind tunnel experiment about convective transfer coefficient and ventilation rate in an urban area

Isao MORIOKA

1. 研究目的 ヒートアイランドのモデル化には、都市大 気の加熱に寄与する全てのフラックスを定量的に把握す る必要がある。熱移動の3形態のうち、放射と伝導に関 する物理モデルはほぼ確立しているのに対し、対流によ る熱移動(熱伝達)に関しては未だ解明されていない。特 に、複雑な気流性状を有する市街地における建物表面と 大気との間における熱伝達の解明は重要課題である。

本研究では熱伝達と物質伝達のアナロジーを利用した 濾紙面水分蒸発による対流伝達率の把握を風洞模型実験 で行った。この手法は、放射や伝導によるフラックスが 存在する熱現象とは異なり、対流フラックスのみを容易 にかつ高精度に測定できるのが特徴である。また、対流 伝達率は風速と密接な関係を持つため、本研究では対流 伝達率の大小を風通しの良し悪しとして評価している。

これまで、この手法を用いた 2 次元配列に関しては街 路空間の縦横比を変えた構成面別の面平均と、面内分布 の把握、また 3 次元配置に関しては各構成面の面平均と 建ぺい率の関係が検討されている。そこで、引き続き本 研究では 3 次元配置における面内伝達率分布の測定を行 った。街路空間の縦横比を変え、建ぺい率と面内分布の 関係を明らかにしている。さらに、風向変化による検討 も行いその影響を把握した。

建物形状は建物配置と同様に周辺気流を決定付ける上 で非常に重要であるが、屋根の有無およびその勾配と伝 達率についてなされた研究例は少ない。そこで、2次元配 列における屋根勾配の差異による面内伝達率分布の測定 も行った。屋根形状は切妻屋根とした。街路空間の縦横 比と屋根勾配を系統的に変化させて測定を行い、各面に おける詳細な伝達率分布を把握した。

一方、以上のような一連の単純均等配列による結果が 現実の複雑な市街地の状況をどれほど再現しているかは 不明である。そこで、実物を 1/750 に縮小した実在市街 地模型を用いて、街路に直交する 2 方向からの風による 街路面の伝達率分布を把握した。

2. 対流伝達率の測定

2.1. 使用風洞 本研究は、株式会社飛島建設技術研究所 所属の密閉回流型境界層風洞を使用した(Fig.1)。測定洞 にスパイヤーおよび大きさの異なる3種類のラフネスを 配置し、乱流境界層を発達させた。Fig.2 に今回のラフ



Fig.1 風洞平面図

ネス配置による鉛直プロファ イルと乱れ強さを示す。べき指 数α=0.2、乱れ強さは床上50mm までの平均で約15%である。風 洞内の基準となる風速は、ター ンテーブルの中心から風上へ 2.1m、床上1.4m に固定されて いるピトー管の値で3m/sとし た。また、ターンテーブル中心 から風上3m に精密デジタル温 湿度計を設置した。



2.2. 対流伝達率の算出 対流伝達率の算出式を Table1 に示す。測定に使用する試料は、アクリル板に 1mm 厚の ろ紙を貼り付けたものを使用した。この試料は側面にコ ーティングを施し、表面以外からの蒸発を防いだ。ろ紙 を十分に湿らせた後、ろ紙の表面直下に表面温度測定用 としてφ=1mm のサーミスタ温度センサ(1/100℃精度)を 挿入した。風洞に 30 分設置し、その間の水分蒸発量を電 子天秤(0.1mg 精度)で秤量した。試料の運搬および秤量中 は水分の蒸発を防ぐため、密閉容器を用いた。本風洞は 温湿度の制御ができない。そのため、ターンテーブル中 心から風上側 1.7m の位置に基準となる点(k_s)を設け、測 定点(k)と基準点との比(k/k_s)を用いることによって異な る温湿度環境下にて得られたデータの比較が行えるよう にしている。

Table 1 対流伝達率 算出式

蒸発速度	$E = \frac{\Delta w}{A \cdot h}$	∠w:水分蒸発量	A: ろ紙表面積	h : 測定時間
[g/㎡·h]		[g]	[㎡]	[h]
物質伝達率	$k = \frac{E}{e_s - e_a}$	e。:蒸発面飽和蒸気圧 e。:空気蒸気圧		§気圧
[g/㎡・h・hpa]		[hpa] [hpa]		pa]

※建築学専攻

3. 立方体模型群における対流伝達率分布

3.1. 実験内容 3次元配置による面内分布の測定を50mm 角の立方体模型を使用して行った(Fig.3)。全面測定用と 分割測定用の2種類用意し、分割測定は H=50mm の面を 10mm ごと5分割し、面内分布の測定を行った。測定点は 模型上端部から順に1から5まで付けた。測定対象面は 風上面(F)、風下面(B)、側面(S)の3面について測定を行 っている(Fig.4)。街路縦横比 L/H は模型高さ50mm を基 準に1/5、1/2、7/10、1、3/2、2 倍と6種類に変化させ て系統的な把握を試みた。また、15度ごとの風向変化に よる測定も行った。



3.2. 街路縦横比の差異による対流伝達率の把握 Fig.5 は、街路縦横比 L/H の差異による各点の伝達率の変化を 表したものである。全ての面において L/H=0.7 までは増 加傾向がみられる。特に F 面においては L/H が 0.2 から 0.7 までの増加量が約 2 倍となっている。L/H=1 以降、F 面と B 面には伝達率の変化はみられないが、S 面には若干 の上昇がみられる。主風向に対して垂直となる F 面や B 面に対し、S 面は並行となっているので、L の増加が伝達 率の増加に寄与したものと考えられる。Fig.6 は、L/Hの 変化による面内分布を断面図にて表したものである。こ れらの図からも L/H が 1/5 から順に広がることによって 伝達率が増加しているのがわかる。隅各部に関しては常 に面内における最低の値を示した。

3.3. 風向変化による伝達率への影響 Fig.7 は風向変化 による伝達率の変化を街路縦横比ごとに示したものであ る。L/H=1/5 に関しては街路幅が狭いため、風向変化によ る伝達率への影響はほとんどみられない。その他のケー スでは風向が 180 度に近づくほど伝達率が低くなってい る。風下となる 180 度では局所的に伝達率が少し高くな り、1/5 を除く全てのケースがほぼ同一の値となった。





L/H = 2 Fig.6 各面における面内伝達率分布

4.2次元配列における屋根形状による伝達率の変化

4.1. 測定条件 屋根勾配は、勾配の緩いものから急なケースまでの4種類と、屋根なしを合わせた計5ケースとした。ろ紙の表面積は前章の分割測定と同じ大きさの10mm×50mmを基準としている。よって、屋根(斜面)の長さは、30mm、40mm、50mm、60mmとなり、その際の勾配 θ は33.6度、51.3度、60度、65.4度である。なお、軒高までは、幅、高さ共に50mmである。街路縦横比を系統的に変化させる場合、基準高さ H を定める必要がある。今回の実験では基準高さ H を軒高、棟高そして、軒高と棟高の平均高さの3種類として測定を行った。街路縦横比 L/H は、1/2、1、3/2 の3種類について行った。測定面は風上面(F)、風下面(B)、床面(G)、そして屋根面の風上面(RF)と風下面(RB)の計5面について測定を行った。**Fig.8**に建物基準高さと模型間隔の関係および測定対象面の概要を示す。



4.2. 面内伝達率分布の把握 Fig.9~Fig.13 は屋根勾配 を有する建物模型における構成面別の伝達率分布を示し たものである。また、軒高以下となるF面、B面、G面の 伝達率の平均値をキャニオン内平均として示した。屋根 なし時の伝達率は F 面の上端部にて最も高い値を示し、 気流のよどむ床近傍の隅角部などの点は伝達率も低く出 ている。この屋根なし時における伝達率分布の傾向は既 往の研究とほぼ一致している。屋根勾配 33.6 度以上にな ると、キャニオン内の伝達率が減少しているのがわかる。 特にその影響はF面に顕著に表れている。一方でB面は 値が増加している。屋根なし時の F 面にて、最も値の高 かった上端部のピークは、屋根勾配が大きくなることに よって弱まり、逆に B 面の上端部の値が発達している。 また、G面に関しても、屋根無し時にF面側に現れていた 伝達率のピークは、屋根勾配が大きくなることにより B 面側へ移動している。Fig.14 は各面ごとの伝達率の平均 値を屋根勾配順にまとめたものである。主風向に対して 常に風下となる RB 面と B 面は同じような変化を示した。 5. 実在市街地模型を用いた対流伝達率分布の検討

5.1. 測定概要 詳細に再現された市街地模型による街路を対象に測定した。スケールは直径 2m の円形の板上に 1/750 スケールで実在都市模型が作られている(**Fig.15**)。





試体
 減体
 減体
 減体
 減体
 減
 減
 (本)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)
 (*)



ら御成門交差点(No.35)までの実距離にしておよそ1kmを 模型上で35分割した。風向は街路と直交とし、風向Eと 風向Wの2方向からの風で測定を行った。

5.2. 同一街路における伝達率分布の測定 Fig.16 は各 測定点における風向 E と W による伝達率の比を表したも のである。同一の測定点であっても風向変化によって1.6 倍の差異が現れる点や、全く影響を受けない点がみられ る。測定点ごとの伝達率のばらつきは大きいが、街路全 点における伝達率の平均値は2風向方共に0.60 であった。 都市計画に基づいた規制がかけられているため、今回の ように多点による平均値としては風向に関わらず同じ値 になったと考えられる。Fig.17 は全点の平均値と各測定 点の値との比を街路沿いの建物立面図と共に示したもの である。単純均等配列とは異なり、複雑な分布を示した。 市街地における伝達率のふるまいは単純ではなく、さら に広域的な建物配置や建物形状及び公開地などとの検討 が必要と考えられる。

5.3. 街路沿い建物高さとの関係 Fig.18 に街路縦横比 L/H と伝達率の関係を示す。H は街路沿い建物の平均建物 高さとした。今回の測定を行った街路の L/H は、おおむ ね 0.7~1.4 の範囲内に集中している。この結果を Fig.5 と参照すると、街路沿いの建物高さに多少のばらつきが あったとしても伝達率への影響は少ないと考えられる。

建物間におけるキャニオン空間内の気流性状は、建物 の平均高さではなく、風上と風下の建物の高低差および 風向によりその形態は大きく異なる。Fig.19 は、高い建 物が風上側にあるか風下にあるかで分類したものである。 若干ではあるが、風下側に高い建物となるケースの方が 伝達率は高く出る結果となった。

6. まとめ 3次元配置における構成面別の詳細な面内伝 達率分布とL/Hの関係を把握した。特に、L/Hの増加によ



って F 面の上端部に急激な伝達率の増加がみられた。また、風向変化による測定では、L/H=1 を除く他のケースにおいて風向 180 度にてほぼ同一の値を示した。屋根を有する模型を用いた 2 次元配列測定では、床面も含めたキャニオン内の伝達率分布を把握し、屋根の影響によるキャニオン内の伝達率分布の変化を明らかにした。実在市街地模型を用いた街路面の達率分布の測定においては、各点のばらつきが大きく出た。しかし、今回対象とした

街路においては多点測定による街路の伝達率平均は直交 する2方向からの風においても同じ値となった。

[参考文献]

³⁾ 成田ほか『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 No.527 69-76 2000,1

審査員(主査)	教授	成田	健一
審査員(副査)	教授	市橋	重勝
審査員(副査)	教授	伊藤	庸一

¹⁾成田ほか『市街地における建物外表面伝達率に関する実験的研究』-その3 規則的 配列建物群模型の面平均伝達率について-日本建築学会中国支部研究報告集 No.16 297-300 1991,3

²⁾成田ほか『市准地における建物外表面伝達率に関する実験的研究』-その15 市准地 ブロックにおける伝達率分布のケース・スタディー 日本建築学会中国支部研究報告集 No. 18 301-304 1994, 3