

# 街路空間における気流性状と対流熱伝達率分布に関する研究

藤井 隆弘\*

## STUDY ON AIR FLOW AND CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENT IN AN URBAN STREET CANYON

Takahiro FUJII

### 1. はじめに

近年、街路空間の熱環境についての研究は、数値シミュレーションなどによるモデリングが主流となっている。モデリングにあたっては様々なパラメーターが必要であるが、対流熱伝達率も重要なパラメータの1つである。しかしながら、街路空間の3次元気流性状をふまえた上で、伝達率の分布を研究した例は少ない。本研究では、街路空間における実測と風洞模型実験により、街路空間の3次元的な気流性状と伝達率の分布を詳細に検討した。

市街地における風環境の実測では、上空風による街路空間内の気流性状の変化を把握するため、歩道橋を使った定点観測を行い、超音波風速計を用いて3次元風速ベクトルを測定した。

模型を使用したこれまでの風洞実験では、スカラーフ風速のみの測定がほとんどであった。本研究では、レーダードップラーフ風速計を用いて、3次元風速のベクトル測定を行った。

熱伝達率に関する風洞実験は、これまでにもいくつか研究例があるが、街路空間を対象に系統的な検討を行ったものはほとんど見あたらない。ここでは、ろ紙面蒸発による物質伝達率の測定から、間接的に熱伝達率を求めるという手法を考えた。伝達率の値は、試料寸法や気流の乱れ性状などに左右されるため、面平均のほかにろ紙の面積を変化させた分割測定も行った。

### 2. 市街地における風環境の実測

観測場所は広島市内中心部を東西に縦断する街路（幅40.6m、片側3車線と路面電車の軌道を含む）にあるほぼ南北に直交する（西偏約6°）歩道橋上である。周囲の状況は、中層のオフィスビルが林立する商業地域である。街路高さに相当する建物の平均高さは、南側27.9m、北側36.3mである。観測期間は1997年8月19・20日である。

基準（上空）風速は歩道橋から東に約200m離れた

定点観測の対象街路沿いに建つ高さ57.55mのビル（インテスビル）屋上6mの位置に3次元超音波風速計を設置した。

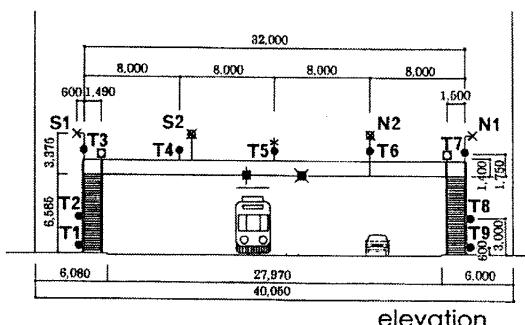


図1 歩道橋定点(断面図)

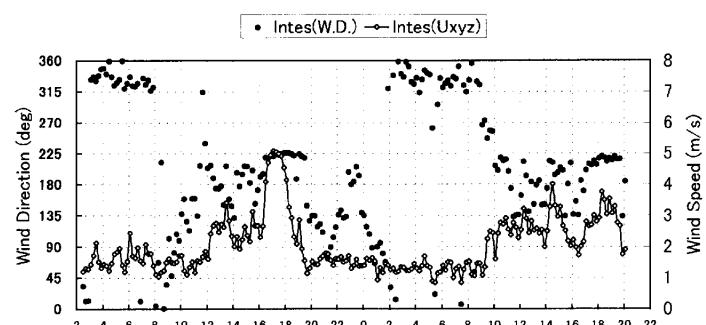


図2 上空の風向と風速

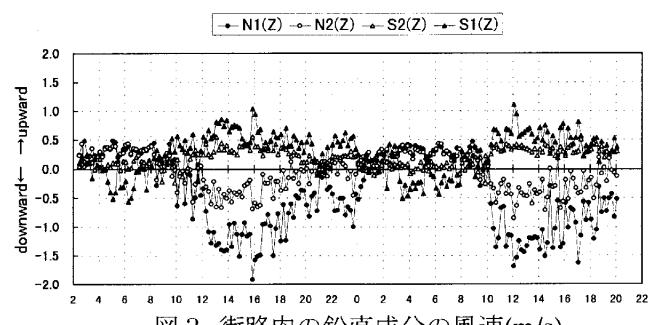


図3 街路内の鉛直成分の風速(m/s)

\*建築学専攻

図3は、街路内定点における鉛直成分の風速変化である。正の値は上昇流、負の値は下降流をあらわす。街路壁面近傍のN1・S1は、風速の絶対値が大きく対称であり、風速の大小に関わらず循環流のパターンが形成されている。

図4は、街路内の循環流成分と平行流成分の関係をあらわしている。U<sub>yz</sub>は循環流成分であり U<sub>x</sub>は平行流成分である。N1 はばらつきがあるが、他の3地点では街路内風速が大きくなるにつれて街路に対して平行な成分 U<sub>x</sub>が増加する。街路空間における流れ場は、YZ 成分の循環流だけでなく、X 成分の流れにより、スパイラルな循環流となっている。

図5は、街路に対するZ成分の流入と流出の割合と上空風向の関係を表している。上向/下向は、N1・N2・S2・S1 の4地点におけるZ成分の5分間平均風速を、上向き下向きそれぞれの風速を加算し、上向きの値を下向きの値で除したものである。上向/下向の値が1の場合は、流入・流出の比率が同じであることを意味する。全体的にばらつきがあり、90度から225度の範囲では、上向/下向の値が1前後のまとまりがあるが、315度から360度の範囲では大きく変化がある。

図6は、図5であらわしたものうち、風向が90度から270度の範囲についてのデータをまとめたものである。上空風速が2m/sまでの上向/下向の値は、大きく変化している。また、上空風速2m/s以上の上向/下向の値は安定しているが、上向/下向の値のほとんどが1以下であり、流入量の割合が多い。結果から測定断面においては、質量保存則は成り立たず、風速が大きい場合には上向きの流出量より下向きの流入量のほうが大きくなつた。これは流入風が直交街路等へ水平的に流出していることを意味する。

### 3. 街路空間の気流性状に関する風洞実験—レーザードップラーフロー計を用いた気流性状の測定—

#### <レーザー流速計の原理>

2本のレーザー光を交差させ、光による一定の干渉波を形成させる。焦点を通過する粒子は散乱光を発し、その散乱光の波長と焦点の干渉波は、光検出器によりその差を粒子の移動距離と時間の関係で流速となる。

#### <測定条件>

2次元模型は縦(H)100mm 横(W)100mm 長さ 1500mm の直方体を使用した。風洞内には、トレーサガスを充満させる。実験は3次元であるため、XY成分とXZ成分の2度の測定を行う。測定時間は、各点あたり30秒とした。

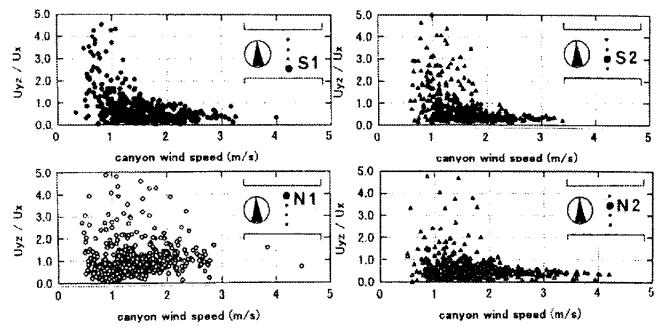


図4 街路内の平行流成分と循環流成分の比

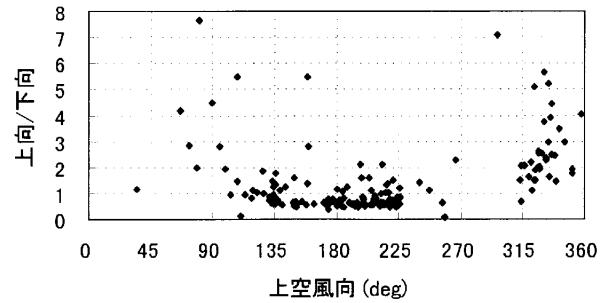


図5 街路内におけるZ成分の比と上空風向

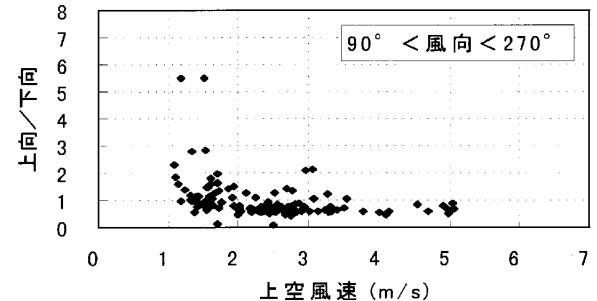


図6 街路内におけるZ成分の比と上空風速  
(上空風向 90° < 風向 < 270° )

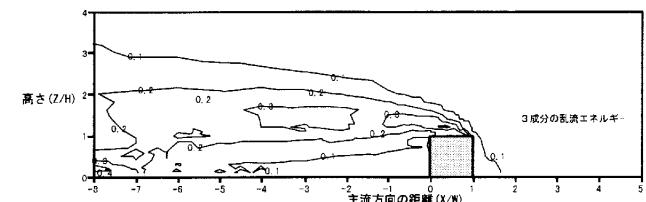


図7 2次元単体模型 3成分の乱流エネルギー

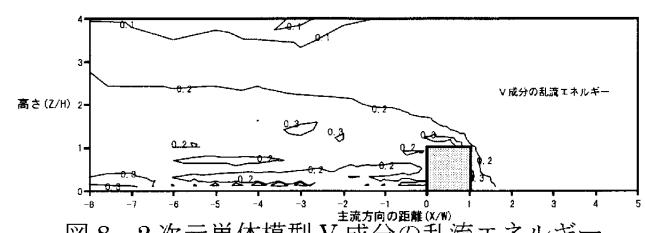


図8 2次元単体模型 V成分の乱流エネルギー

## <測定結果>

図7は、2次元単体模型の測定における3成分の乱流エネルギーを等値線であらわしたものである。乱流エネルギーは、以下の式で定義される。

$$k = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2)/2$$

$$k^* = k / (0.5 \times U_0^2)$$

$k$ : 乱流エネルギー ( $m^2/s^2$ )

$\sigma$ : RMS風速 ( $m/s$ )

$U_0$ : 基準風速 ( $m/s$ )

$k^*$ : 無次元化した乱流エネルギー

乱流エネルギーの分布は、模型周辺から後域流にわたって広く分布をしている。

図8は、2次元単体模型の測定における水平面内で主流と直交する成分(V成分)の乱流エネルギーを等値線であらわしたものである。本実験は、2次元模型を対象としているが、V成分の乱れも顕著にあらわれた。

図9は、街路幅100mmにおける風上から6列目の街路空間内の風速ベクトル図である。縦横比が1:1の街路空間では、街路内を中心循環流が形成された。街路の水平・鉛直面近傍では、面に平行する平行流のパターンがみられる。街路軒高では、主流方向に強く流れ、やや下向きの流れとなっている。風上面と屋根面で構成する軒高付近では、軒高の気流により、風速比が大きくなっている。

## 4. 街路空間の対流物質伝達率の測定

### <測定条件>

模型の街路幅は100mmとし、LDVによる測定条件と同じものとした。実験日の温湿度条件の影響を除くため、8列目上空の床面から500mmの高さに100mm角の基準試料を鉛直に設置し、同時に測定した。以下の結果は、模型の伝達率を基準面の伝達率で基準化して表す。

### <測定方法>

本実験では、濾紙に含まれる水分の蒸発量  $Q_c$  を測定し、物質伝達率  $k$  を算出する。

$$E = Q_c / (A \cdot h)$$

E : 蒸発のフラックス ( $kg/(m^2 \cdot h)$ )

$Q_c$  : 試料面からの蒸発量 ( $kg$ )

h : 計測時間 (hour)

A : 試料面積 ( $m^2$ )

から

$$k = E / (e_s - e_a)$$

k : 物質伝達率 ( $kg/m^2 \cdot h \cdot hPa$ )

$e_s$  : 蒸発面の飽和蒸気圧 (hPa)

$e_a$  : 気流の蒸気圧 (hPa)

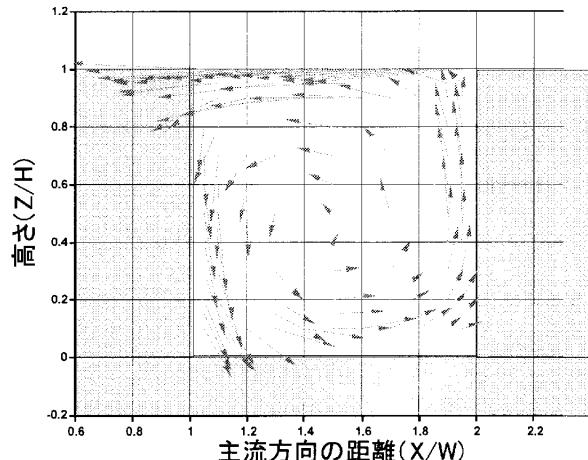


図9 街路幅100mm 6列目街路内の風速ベクトル

表1 街路外表面の伝達率(面平均)

	基準の伝達率	模型の伝達率	基準化した伝達率
風下面	0.0779	0.0361	0.464
床面	0.1106	0.0610	0.552
風上面	0.1086	0.0569	0.524
屋上面	0.1114	0.0582	0.522

単位:  $kg/m^2 \cdot h \cdot hPa$

無次元

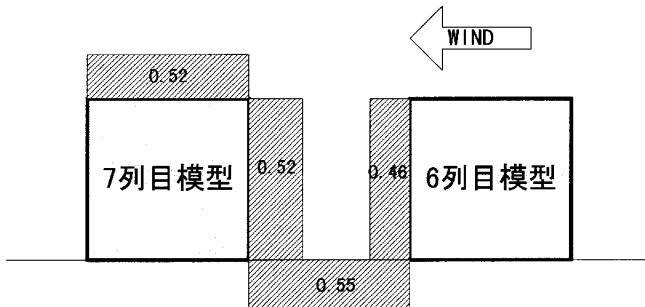


図10 街路外表面の伝達率(面平均)

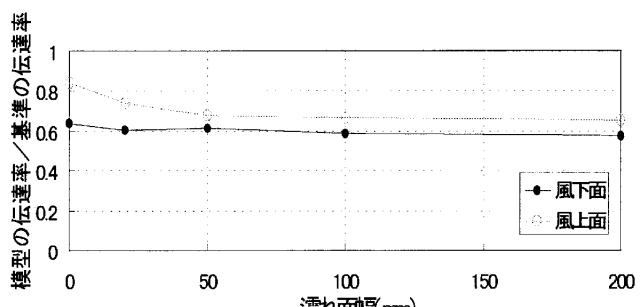


図11 濡れ面幅による伝達率の変化

図 10 は、面平均測定における伝達率を表したものである。また、表 1 は測定結果を表にまとめたものである。床面・風上面・屋上面は、概ね等しい値である。

図 11 は、測定面の両側の濡れ面範囲を変化させた場合の実験結果である。同じ条件下であっても全体的に伝達率は、濡れ面幅の増加に伴い減少傾向を示す。周囲の濡れ面による伝達率減少の原因は、LDV による気流性状の測定結果から、V 成分の乱流変動による影響であると考えられる。

図 12 図 13 は、分割測定結果である。それぞれ測定試料周辺をドライ・ウェットとし、街路幅 100mm のパターンで実験を行った。特に屋上面では、ウェットの場合の値はドライの場合の値に比べ、風下側ほど大きく減少する。これは測定試料の風上側にウェットな面があるとドライの場合よりも湿った空気に対して蒸発するためである。

図 14 から図 17 は、伝達率と表面近傍の風速比、伝達率と同じく RMS 風速の関係を示した図である。濡れ面の幅についての実験では、乱流変動と伝達率の関係が示されたが、分割測定では近傍の平均風速だけではなく乱れの大きさとも関係があることが示された。

## 5.まとめ

市街地における実測結果から、街路空間内では循環流が形成されるが、流入と流出の質量保存則は成り立たず、また街路に平行する流れが影響することで、スパイラルな流れとなっている。

2 次元街路空間の気流性状は、LDV を用いた 3 次元ベクトル測定結果から、街路模型の形状が 2 次元の場合においても、水平面内で主流と直交する成分の乱れが顕著にあらわれ、乱流は 3 次元的であった。

LDV による気流の実験結果とその比較から、街路空間の伝達率は表面近傍の平均風速だけでは説明できず、乱流変動とも深く関係していることが明らかとなった。

## (参考文献)

- 1) 清田・成田：市街地街路空間における気流性状の実測 第 14 回風工学シンポジウム(1996.12)
- 2) 成田・藤井ほか：LDV を用いた建物周辺の風環境に関する風洞実験 日本建築学会大会(1998.9)
- 3) 成田ほか：自然風下における窓面対流物質伝達率の実測 日本建築学会計画系論文集(1997.1)

審査委員（主査）成田 健一 助教授

審査委員 桑原 文夫 教授

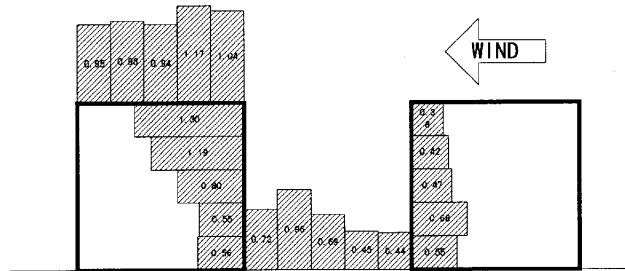


図 12 街路外表面の伝達率—ドライの状態—  
(分割測定)



図 13 街路外表面の伝達率—ウェットの状態—  
(分割測定)

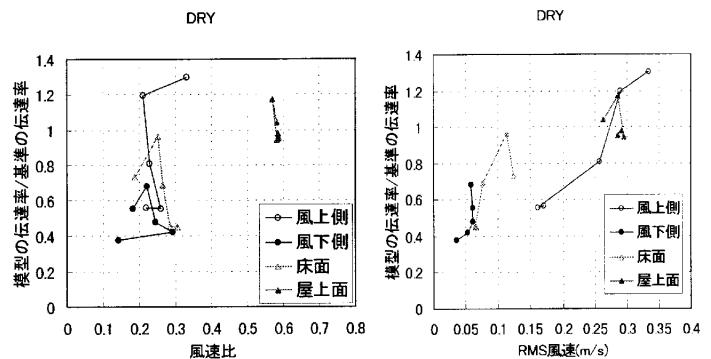


図 14 風速比と伝達率

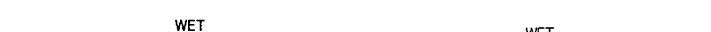


図 15 RMS 風速と伝達率

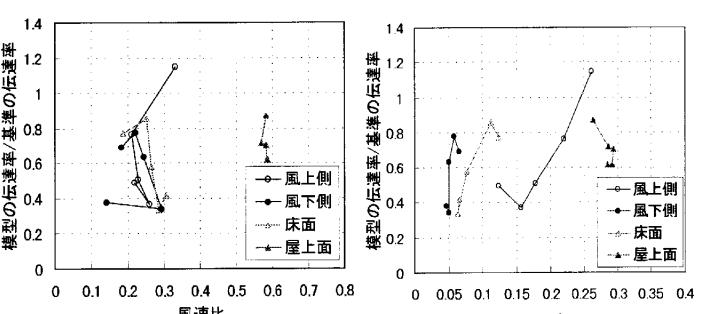


図 16 風速比と伝達率

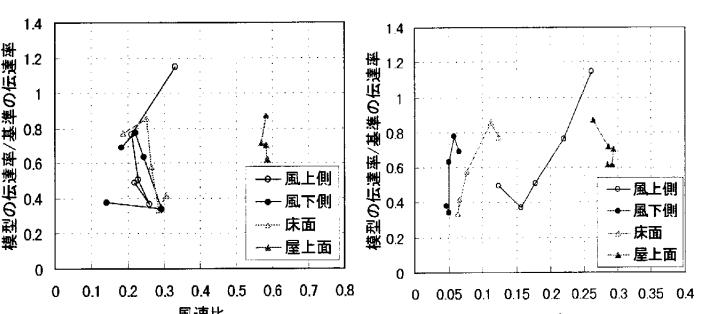


図 17 RMS 風速と伝達率

審査委員

市橋 重勝 教授

(順不同)