

市街地における街路空間の気流性状に関する研究

広島市の東西街路における実測

STUDY ON CHARACTERISTICS OF AIR FLOW IN URBAN CANYON

Files observation at east-west urban canyon in Hiroshima city

清田 誠良*, 成田 健一**, 吉原 俊朗***, 戸田 訓弘****

中山 昌尚*****, 野々村 善民*****

*Nobuyoshi KIYOTA, Ken-ichi NARITA, Toshirou YOSHIHARA,
Norihito TODA, Masanao NAKAYAMA and Yoshitami NONOMURA*

Urban area can be considered as an assembly of various shapes and sizes of urban canyon. The climate of urban canyon is primarily controlled by micrometeorological effects of canyon geometry, though it is also affected the mesoscale phenomenon in urban boundary layer. This study presents an analysis of the air flow characteristics for urban canyon, based on three dimensional wind components data which are measured with four ultra-sonic anemometers mounted along pedestrian bridge. The summary is as follows:

- 1) The strong circulation flow is derived from southerly sea-breeze during daytime and counter-circulation flow corresponding to land-breeze is also apparent in the early morning.
- 2) As for the parallel component to the street, its direction changes due to the deflection of upper wind direction from right angle to the street.

key word : Field Observation, Urban Canyon, Air Flow Characteristics

実測、アーバンキャニオン、気流性状

1. はじめに

近年、市街地における建物の高層化・高密度化のために、建物により形成される街路空間は様々な幾何学的形状を呈している。この街路空間における空気の流れは、風通し・汚染物の拡散などそこで生活する人間にとっても、また都市の高温化・ヒートアイランド現象など都市気候という観点からも非常に重要な要素となっている。

特に今回対象とした街路空間、いわゆるストリートキャニオンは、都市構造の代表的な構成ユニットであり、そこでの気流性状の把握は、『快適な都市環境』更には『都市気候』の解明において最も重要な課題であると考えられる。

しかしながら、筆者らを含め¹⁾これに関する測定は多くは見あたらない。例えば、1986年 Depaul F.T. and Sheih C.M.²⁾らは街路幅が 24.5m の南北街路においてストリートキャニオン内の気流の測定を実施し街路空間における二次元的な気流性状の解明を、また 1988年 Y.Nakamura and T.R.Oke³⁾らは街路幅が 16.1m の東西街路において都市キャニオン内の温熱環境を対象として測定を実施し、上空風と街路風の関連について解明をしているが、街路空間における複雑な気流性状を解明するためには必ずしも十分な資料であるとは言えない。更に、多くの建築物が建ち並ぶ実際の街路空間におい

ては、街路の幾何学的形状は様々な組合せになっており、街路の幾何学的形状により街路内に形成される気流性状が異なることも T.R.Oke⁴⁾により報告されている。このためこのストリートキャニオン内での気流性状を明確にするためには、様々な幾何学的性状を持つ実際のストリートキャニオン内での実測が必要となってくる。

そこで、今回測定対象とした広島市は、夏季において南北方向の海陸風循環が明瞭に現れ、更にこの卓越風向に対して直交する東西街路があるという測定条件に恵まれている。

本論文においては、現実の街路空間における詳細な気流性状を把握することを目的に実測を実施したものであり、街路に対する上空風の風向・風速が街路空間の気流性状に及ぼす影響について報告するものである。

2. 測定及び測定場所

測定は図-1に示すように広島湾より北方約 4km 付近の広島市中心部の東西街路(幅員 40.05m、片側3車線と路面電車軌道を含む)にある歩道橋で実施した。測定点周辺の建物の状況を図-2に示す。この付近は広島市の中心街で商業施設・事務所などが集中し、高層建築物により東西方向にストリートキャニオンが形成されてい

* 広島工業大学環境学部環境デザイン学科 助教授・工博

** 日本工業大学工学部建築学科 助教授・工博

*** 広島大学工学部 大学院生

**** 宇都宮大学工学部 大学院生

***** (株)フジタ技術研究所 工博

***** (株)フジタ技術研究所 工修

Assoc. Prof., Dept. of Environmental Design, Fac. of Environmental Studies Inst. of Technology, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture Fac. of Engineering, Nippon Inst. of Technology, Dr. Eng.

Graduate Student, Fac. of Engineering Hiroshima University

Graduate Student, Fac. of Engineering Utsunomiya University

Technical Research Institute, Fujita Corporation, Dr. Eng.

Technical Research Institute, Fujita Corporation, M. Eng.

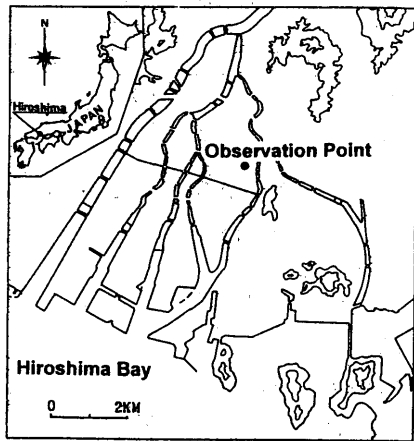


図-1 測定場所

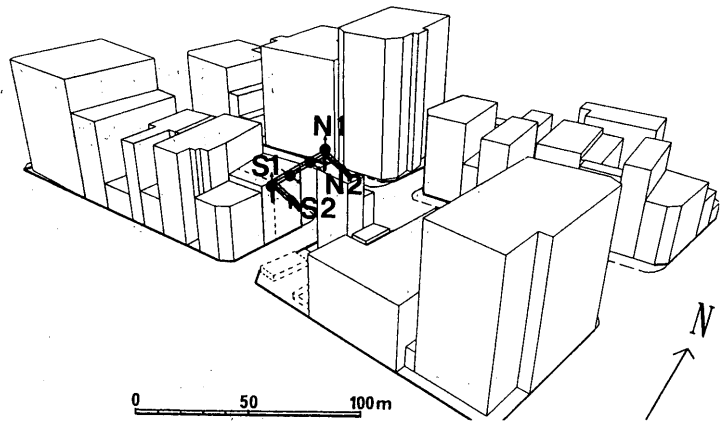
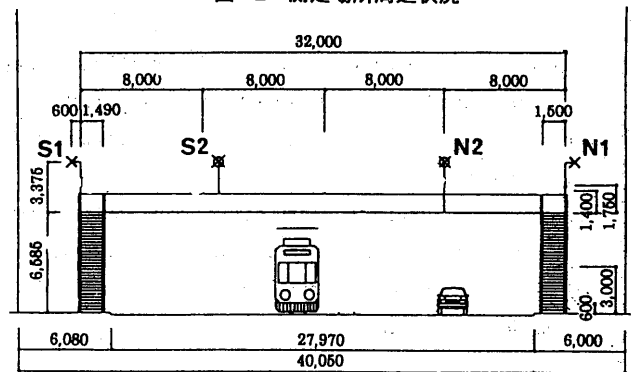


図-2 測定場所周辺状況

る。また街路の北側・南側は中層建築物が密集する地区である。測定場所両側の平均建物高さは南側 27.9m、北側 36.3m である。

測器の設置状況を図-3 に示す。風速計は歩道橋による影響を避けるために橋上(約 6.6m) より約 3.4m 上げ、更に水平方向に 0.6m の位置に 5cm スパン 3 次元超音波風速計 ((株) 海上電機製) を 4 台設置し、0.1 秒毎にデータを収録した。これと同時に図-4 に示す測定点より約 200 m 東に位置する対象街路沿いに建つ高さ 57.55m のビルの屋上塔屋 6 m の位置に矢羽式風向風速計 (コーナンシステム製) を設置し、1 分間積算値より 1 分平均風速および最大風向を算出する。測定は 1996 年 8 月 21 日 8 時~18 時に実施した。

測定期間の天候は午前中晴れ午後終了時に降雨となる。測定期間の気温・全天日射量・上空風の風向・風速を図-5 に示す。これによれば、9 時から 13 時までは南風、9 時までと 13 時から 18 時までは北風という期間中の明確な南北風交代の存在が認められる。



elevation

図-3 測定機器配置状況

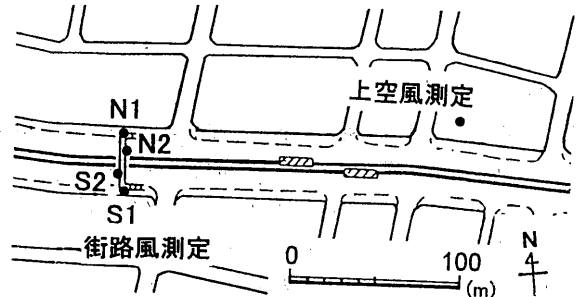


図-4 上空風測定場所

3. 測定結果

図-3 に示すように街路内歩道橋上 3.4m (地上高 10m) に南北方向に 4 台 (北より N1, N2, S2, S1 の順) 設置した超音波風速計による 10 分平均風速の時刻変化を成分別に図-6 に示す。ここでは、街路平行方向 (東西方向) を X 軸、街路直方向 (南北方向) を Y 軸、上下方向を Z 軸としている。

これによれば、街路に直交する気流の流れについては、図-5 に示す上空風の風向の交代に明瞭に対応していることがわかる。すなわち、上空風が南風の時間帯では街路空間内は上空とは逆に北風となり、上空風が北風の時間帯では南風となっており、この傾向はいずれの測定点においても同様である。

また、街路空間中央部の測定点 (N2, S2) の方が建物近傍の測定点 (N1, S1) よりも風速が大きくなっている。

次に、街路内における鉛直方向の気流の流れについては、前述の街路に直交する気流と同様に、上空風の風向の南北交代に対して明瞭に対応しており、上空風が南風の時間帯では、街路空間北側測定点 (N1, N2) で下降気流、街路空間南側測定点 (S1, S2) で上昇気流となっており、街路空間内で明瞭な循環流が形成されていることがわかる。これに対して、上空風が北風の時間帯では、街路空間内の最も南側の測定点 (S1) で下降気流となり、それ以外の測定点 (S2, N2, N1) では上昇気流となる。

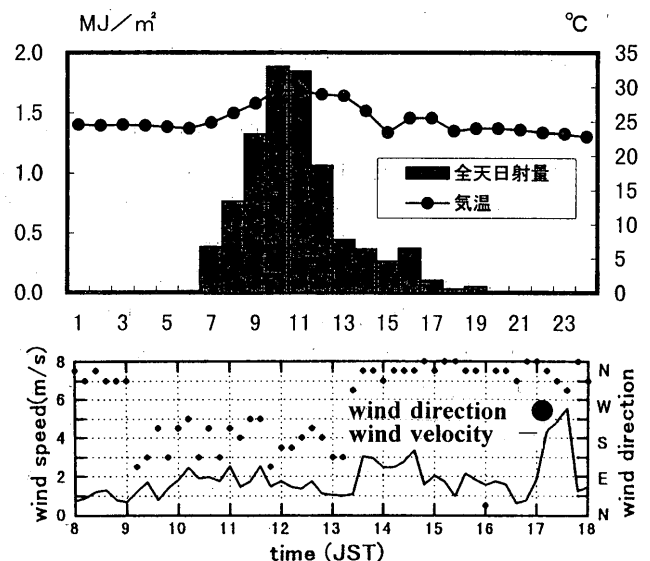


図-5 測定期間気象状況

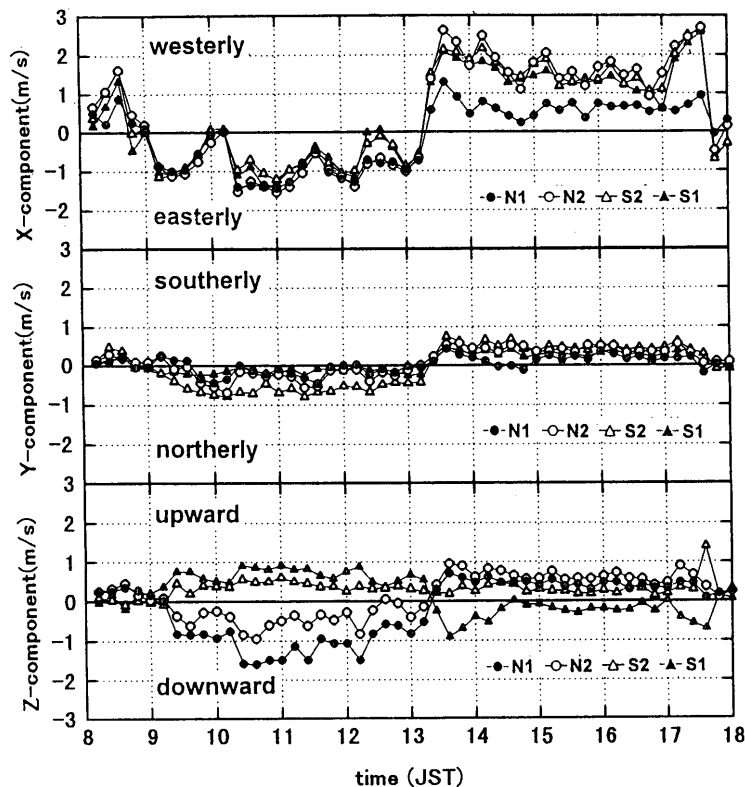


図-6 街路空間風速3成分時刻変化

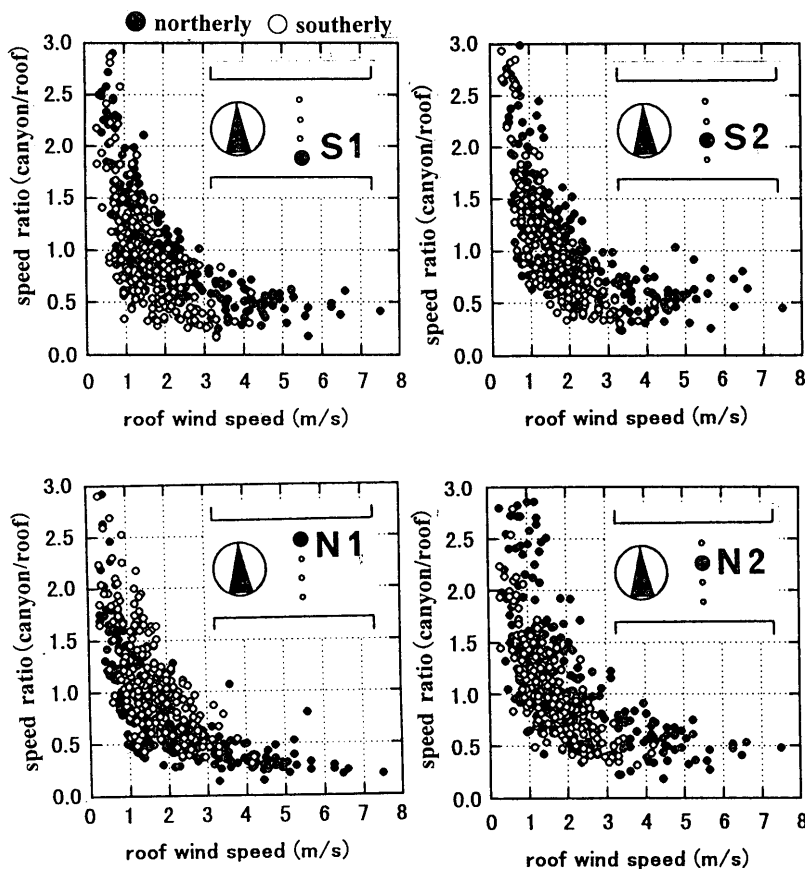


図-8 街路空間内風速と街路空間風速比の関係

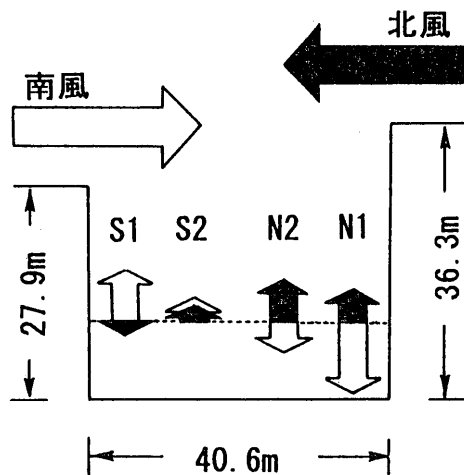


図-7 上空風と街路内循環流の模式図

4. 考察

① 上空風と街路内循環流

結果で示した上空風と街路内循環流の関係は図-7に示すように街路空間を形成する建物高さが南北で異なるために、上空風が南風の場合には南側建物を越えた気流が北側建物壁面に衝突し下降気流となるために街路内に明瞭な循環流が形成され循環の中心がほぼ街路空間中央部となっている。

これに対して、上空風が北風の場合には図-5に示すように上空風は北風の風速の方が大きくなっているにもかかわらず、街路空間内の鉛直成分は北風の方が小さくなっている。これは街路北側の建物が南側建物に比べ高くなっているために、北側建物を越えた気流が街路内に充分に進入せず、そのために循環流が弱く、更に中心が南側にずれるためと考えられる。

最後に、街路に対して平行な気流については、成分の絶対値が直交および鉛直成分と比べ大きくなり、また上空風が街路に対して直交する南北方向の気流であるにもかかわらず、街路内では街路に沿って流れる気流が大きくなっている。また、街路に対して平行に流れる気流も前述の直交および鉛直成分と同様に上空風の風向の交代に明瞭に対応している。すなわち、上空風が南風の時間帯には街路空間内では東風、上空風が北風の場合は街路空間内では西風が顕著瞭に現れている。更に詳しい上空風との関係については後に述べる。

② 上空風速と街路空間内風速の関係

街路空間の風速と上空風速の関係を明確にするために、街路空間内の現象の継続時間(本測定においては2~3分)を考慮し、図-3に示す測定点における上空風測定点と街路空間内各地点(N1, N2, S2, S1)に設置した超音波風速計による3成分合成風速の1分平均風速比(以下風速比と記述)の

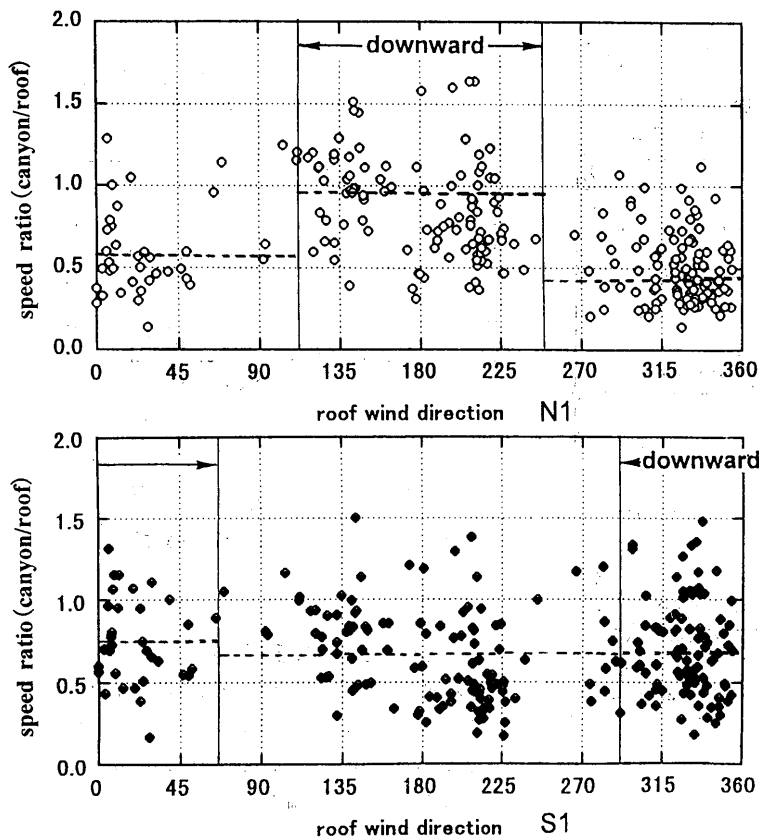


図-9 上空風向と街路空間風速比の関係

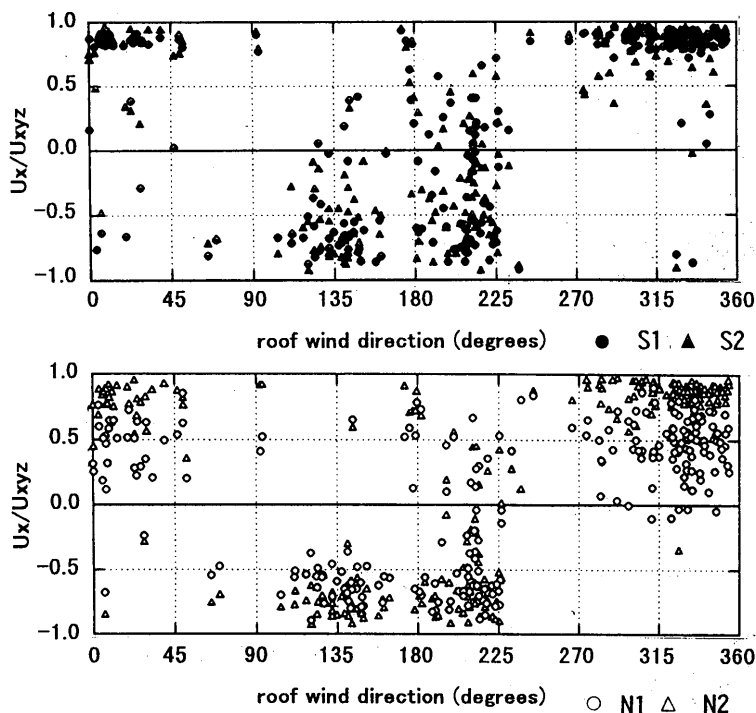


図-10 上空風向と街路空間方向風速の関係

関係を、上空風が北風の場合と（図中●）と南風の場合（図中○）に分けて図-8に示す。

これによれば、街路南側の測定点（S1, S2）では上空風が南風の場合より北風の場合の方が風速比は大きくなり、街路北側の測定点（N1）ではそれが逆転し、南風の場合の方が風速比は大きくなっており、街路に対する下降流の方が上昇流より大きくなっている。また、北風の場合、上空風速が大きくなるにつれて風速比は一定値に収束し、街路南側の測定点で風速比は0.5、街路北側の測定点で風速比は0.2～0.4程度となる。今回の測定期間中は南風の強風が発生しなかったため、南風の場合の強風時の上空風と街路空間の風速比を定義することは困難だが、おおむね0.5程度で一定値に収束するものと考えられる。また、上空風速が1.5m/s以下の時は、風速比にばらつきがあり不安定であることがわかる。そのため以下の解析では基本的に上空風速が1.5m/s以上の場合の観測値を用いる。

③ 上空風向と街路空間内風速の関係

市街地における上空風の風向変化が街路空間内風速に与える影響を明確にするため、1分間平均の上空風が1.5m/s以上の場合の上空風風向と風速比の関係を図-9に示す。図中期間平均値を点線で示す。

これによれば、街路内北端の測定点N1においては、上空風向が南風すなわち街路空間において下降気流となる場合は、上空風が北風で上昇気流となる場合に比べて、風速比が増大する。これに対して、街路内南端の測定点S1においては、上空風が北風・南風すなわち街路空間で上昇気流・下降気流いずれの場合においても風速比に大きな変化は認められない。これは図-7に示したように、街路の北側の建物が街路南側の建物より高いために、南風の場合に、街路南側の建物を越えた気流が、街路北側の建物に衝突し、強い下降気流を形成するために、建物北側の下降気流速度が増大するためと考えられる。

次に、市街地における上空風風向が街路に沿って流れる気流の風速に与える影響を明確にするために、上空風が1.5m/s以上の場合の上空風向と街路空間内各測定点における街路方向の気流風速の街路空間内風速に対する比（X成分風速比）の関係を北側測定点（N1, N2）南側測定点（S1, S2）に分けて図-10に示す。

これらによれば、上空風が北風の場合、街路空間南側ではX成分風速比が正、すなわち街路空間においては街路に沿って流れる西風の発生頻度が非常に高くなる。これに対して街路空間北側では同様に風速比は正の値を示すが、街路空間南側に比べてばらつきが認められる。

また上空風が南風の場合、この現象は全く逆転し、街路空間北側ではX成分風速比が負、すなわち

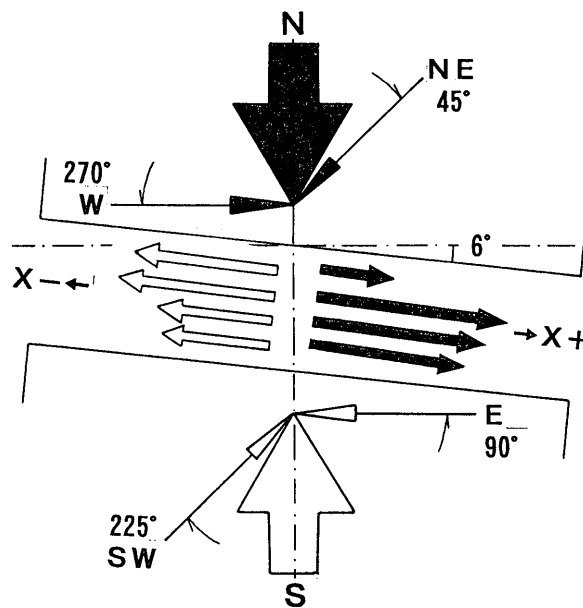
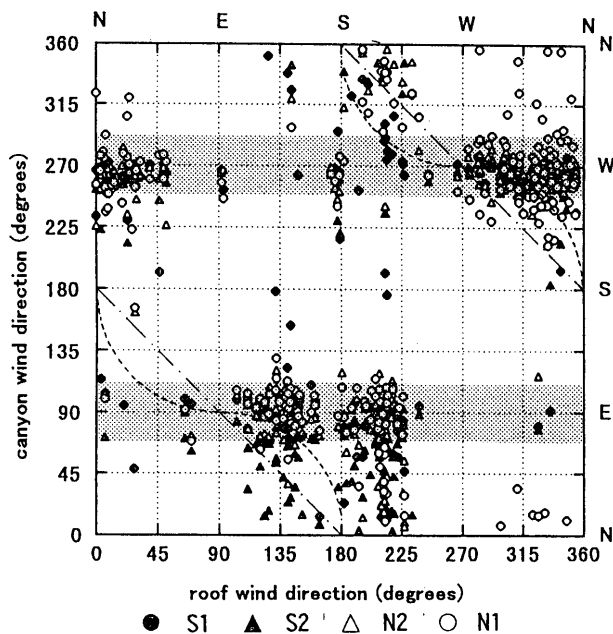


図-11 上空風向と街路空間風向の関係

図-12 上空風向と街路空間内平行流の模式図

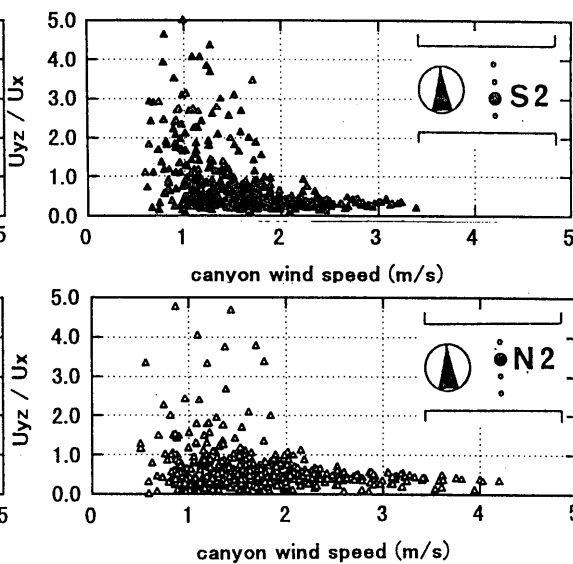
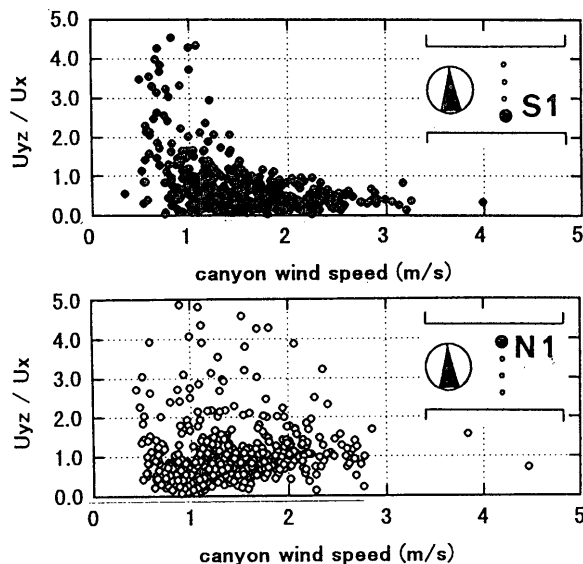


図-13 街路空間における風速の街路平行成分と循環流成分の比較

街路空間においては街路に沿って流れる東風の発生頻度が非常に高くなる。これに対して街路空間南側では同様に風速比は正の値を示すが、街路空間北側に比べてばらつきが認められる。これらのことより、街路空間内で循環流が下降気流となる側では街路方向に沿った風向発生に対して安定性が認められる。しかしながら、詳細に検討してみれば、上空風が南西風の場合でも街路空間においては東西方向の気流が発生し、逆に上空風向が北東風の場合でも、街路空間において西風の発生が認められている。

④ 上空風向と街路空間内風向の関係

市街地における上空風の風向変化が街路空間内の風向に与える影響を明確にするために、上空風が 1.5m/s 以上の場合の上空風向と街路空間内各測定点の風向の関係を図-11に示す。

これによれば、街路空間内においては、街路方向の風(96度と276度付近、図中において網掛けの部分)の発生頻度の高いことが認められる。一般的に実測における街路空間内風向は、街路に対して直

行する方向に上空風が吹く場合は、街路空間内に循環流が形成され上空風に対して逆流が生じ、街路に対して平行する方向に上空風が吹く場合は、同じ方向に流れるという図中に一点鎖線で示す関係に単純に従うものではなく、図中の曲がった点線で示すように街路に平行な気流となることが多いとされており(Nakamura and Oke 1988³⁾)、この傾向は今回の実測においても顕著に現れている。

しかしながら、上空風向と街路空間内の風向の関係をわかりやすく図-12に示す模式図で示してみると、今回の実測においては、東(E)から南西(SE)にかけての広い範囲からの上空風が街路上空を流れる場合には、街路内においては弱い循環流が形成されるもののほぼ図中白矢印で示す東風となり、また北東(NE)から西(W)にかけての広い範囲から上空風が街路上空を流れる場合には、ほぼ図中黒矢印で示す西風となっている。

⑤ 街路空間内における気流性状

街路空間内の各測定点における気流の循環流成分及び街路に対し

て平行な成分の性状を明確にするために、街路に対して平行な風速成分（X成分）と循環流成分（YZ成分）の比と街路内部空間風速の関係を図-13に示す。

この図においては、循環流成分と街路に対して平行な風速成分の比が1より大きいほど、街路空間内ではより明確な循環流が形成されていることを示し、1よりも小さいほど街路空間内の気流は街路に沿って流れていることを示す

これによれば、街路内測定点S1, S2, N2の3測定点においては、街路内部空間の風速が1.5m/s以上になると、街路に沿って流れる平行流成分の方が循環流成分より大きくなっていることがわかる。しかしながら最も北に位置する街路空間内測定点N1においては、街路北側に位置する建物が高いために強い下降気流が生じ、街路に対して吹き込む気流となり、他の測定点とは逆に風速が大きくなるにつれて循環流成分が大きくなっている。

5. まとめ

本論文においては、屋外測定によって街路空間に対する上空風の風向及び風速が変化する場合について、街路空間内の詳細な気流性状について検討を加えてきたが、まとめれば以下のようである。

- ① 街路空間内において、街路に直交する気流の流れは、上空風の南北交代に対応し、いずれの測定点においても上空風とは逆の風向となり、鉛直方向の気流の流れは、上空風の南北交代に対応し、上空風が南風の場合には街路空間北側で下降気流、街路空間南側で上昇気流となり循環流が形成され、上空風が北風の場合は逆方向の循環流が形成される。
- ② 街路空間内においては、上空風速に対する街路内風速の風速比は上空風速の増大とともに一定値に収束し、吹き下ろし側で0.5程度となる。また下降気流が観測される側の気流速度は上昇気流が観測される側より大きな値を示す。
- ③ 街路空間内においては、上空風の風向変化に対応して風向は変化し、上空風が北風の場合は街路に沿って流れる西風、上空風が南風の場合は街路に沿って流れる東風の発生頻度が非常に高くなる。

- ④ 街路空間内においては、上空風の風速が大きくなるにつれて循環流成分より街路に沿って流れる平行流の成分の方が卓越するが、街路を形成する建物高さが風上側建物より風下側建物が高い場合は、強い下降気流が形成され、街路に沿って流れる平行流の成分より循環流成分が卓越する。

参考文献

- 1) 清田 誠良・成田 健一：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 pp115～120 1996
- 2) Depaul F.t. and Sheih C.M.: Measurement of wind velocities in a street canyon Atmospheric Environment 20, pp445-459, 1986
- 3) Y.Nakamura and T.R.Oke: Wind temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon Atmospheric Environment 12, pp2691-2700, 1988
- 4) T.R.Oke: Street Design and Urban Canyon Layer Climate Energy and Building, 11, pp103-113, 1988

本論文に関する口頭発表

- 1) 吉原 俊朗・成田 健一・清田 誠良・中山 昌尚・野々村 善民：街路空間における風通しと熱環境に関する実測 その6 街路風と上空風の関係 日本建築学会中国支部研究報告集 第20巻 pp269～272 1997
- 2) 吉原 俊朗・成田 健一・清田 誠良・中山 昌尚・野々村 善民：街路空間の気流性状と熱環境 その3 街路風と上空風の関係 日本建築学会大会学術講演会梗概集（関東）1997 pp531-532

註)

本文中で用いている風速については、添字により各成分を表現している。

Uxyz : 3成分合成風速

Uxy : 水平成分合成風速

Ux : 東西方向成分

Uy : 南北方向成分

なお特に表記しない場合は3成分合成風速とする。

(1997年7月10日原稿受理, 1998年4月16日採用決定)