

スケールモデルサイトにおける「風の道」の野外実験 — 街路形状が街路内部の風に及ぼす影響 —

正会員 ○成田健一*
正会員 菅原広史 2**

風の道 ヒートアイランド 模型実験
街路空間 都市気候 建物周辺気流

1. はじめに

近年、環境省はじめ多くの自治体において「風の道」をヒートアイランド対策として展開しようとの動きが活発化している。しかしながら、これまでの研究成果は必ずしも十分とは言えず、具体的な計画指針の策定につながないのが実情である。

市街地内の風は、複雑な都市構造を反映し、非常に局所性が強い風速分布を形成している。従って、その評価は、ある程度の連続した広がりを持った空間として評価されるべきとの指摘がなされている¹⁾。街路空間に関しては、CFDをベースとしたPRF (purging flow rate) や平均運動エネルギーを用いた評価が報告されており^{2,3)}、また建物の密集度や建物高さの不均一の効果を面的に評価する風洞実験なども試みられている^{4,5)}。

街路空間に関しては、断面のアスペクト比 (W/H , W : 街路幅, H : 街路沿いの建物高さ) をパラメータとして評価されることが一般的である。しかしながら、欧州とは異なり、わが国の都市では建物高さが統一されていないため、幅員が一定の街路でも局所的にアスペクト比が変化し、直交する街路の存在も影響して、複雑な風速分布となっている⁶⁾。また、例えば有楽町マリオンのように、個別の建物が街路風を左右し、気温形成にも大きく影響している事例も報告されており⁷⁾、このような局所的効果も無視できず、データの蓄積が必要と思われる。

一方、自然風に関しては、最近、スケールモデルサイトの屋外実験から、組織乱流が街路空間の空気環境に大きく影響していることが明らかになりつつあり、間欠的に起こるフラッシング現象の重要性が指摘されている⁸⁾。スケールモデル野外実験では、風洞実験に比べキャノピー内の伝達率が增大する傾向があるという報告もある⁹⁾。自然風の持つ、このような間欠的な変動や風向変動の効果は、 $k-\epsilon$ タイプの定常CFD解析では評価できない。

本研究は、屋外スケールモデルを用いて、自然風下において「風の道」の形成に影響する諸要因を検討し、都市計画に向けての基礎的情報を蓄積することを目的としている。本報は、その第一報として、基本的な単純ボイド空間とクラスタ型の街区模型を対象に行った測定結果について報告する。

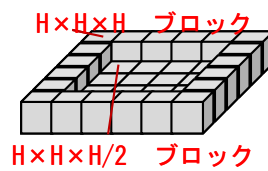
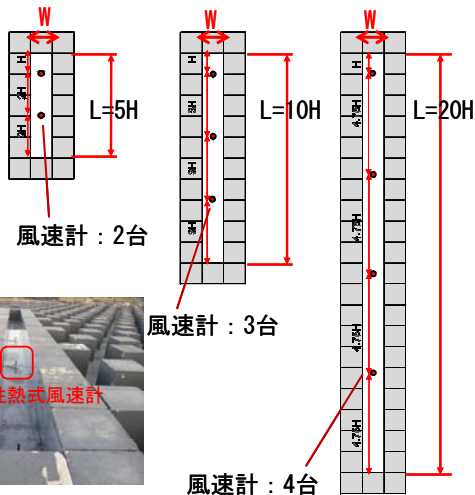
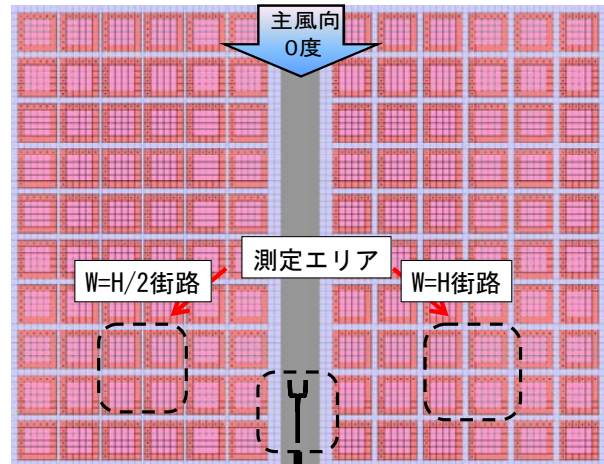
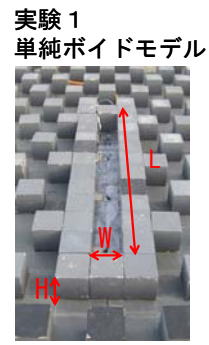
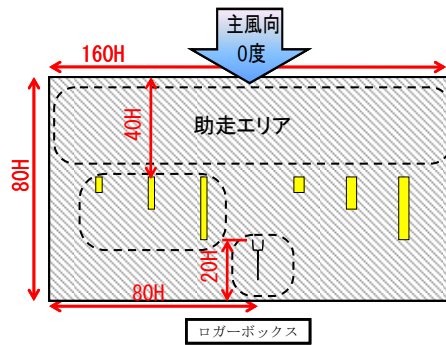
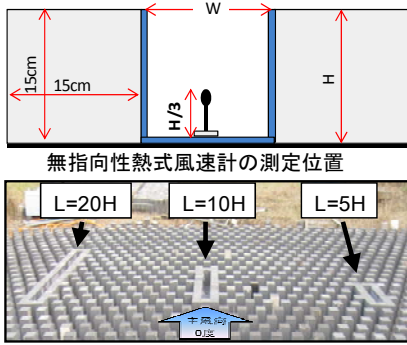
2. 実験概要

実験に使用したスケールモデルは、 $12\text{m} \times 12\text{m}$ のコンクリート平板2面に一辺 $15\text{cm}(=H)$ の立方体のコンクリートブロックを配列したもので、冬季の季節風にあわせ、NW-SE 方向にセットされている。街路に使用した風速計は、球状の無指向性熱式風速計 (KANOMAX 0965-03) 18 台で、街路の中央、高さ $H/3$ に設置した。サンプリング間隔は5秒とした。基準風速は、風下端の高さ $3H$ において、3次元超音波風速計 (YG-81000) を用いて 10Hz で記録し、各地点における10分平均の風速比を求めた。

今回測定した配列は、単純ボイドモデルと街区モデルの2種類で、ボイドモデルは前後が塞がれた閉鎖空間とした。ボイドの長さ(L)は $5H$, $10H$, $20H$ の3種類とし、ボイド内に各々、2点・3点・4点の風速計を設置した。風速計の設置位置は、最も風上側の地点は H で統一し、残りはその風下側空間に等間隔に設置した。ボイドの幅(W)は $H/3$, $H/2$, H , $2H$ の4種類とし、2種類の W の3種類の L について同時測定を行った。なお、ボイド以外の全ての範囲はグロス建蔽率 25%の千鳥配列とし、風上側には $40H$ の助走区間を設けた。なお、ボイドの内壁は、ブロックの凹凸の影響を避けるため、 1mm 厚の透明アクリル板で覆った。

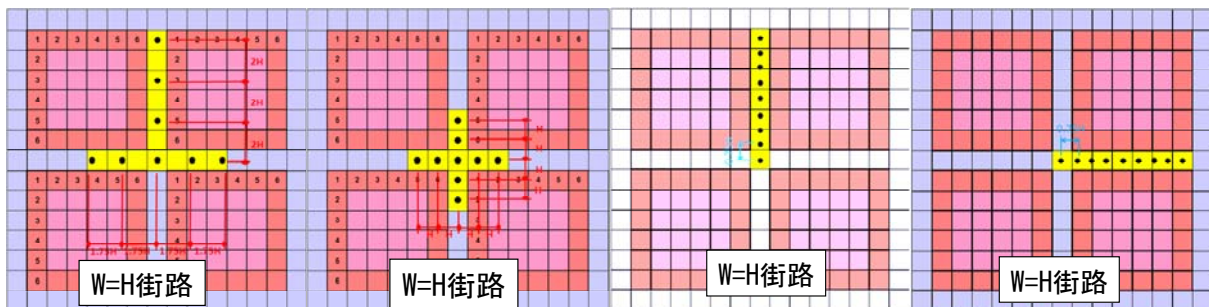
一方、街区モデルは、立方体ブロックで 6×6 の街区を作り、それを気流方向に10列、横方向に6列配列した。街区の中 5×5 部分は、高さ $H/2$ のブロックを使用し、気流に平行な街路の幅(W)を H と $H/2$ の2種類設定し、同時に測定を行った。なお、直交方向の街路幅はどちらも H で統一した。基準風速は両配列の間の風下側で行い、モデル間はやはり 25%の千鳥配列とした。風速計の数が限られるため、風速計の配置を4種類 (ケース 1~ケース 4) に変更しながら測定を行った。

測定季期間は2009年12月9日~2010年1月20日である。使用した超音波風速計については、支柱や筐体による flow distortion のチェックを別途行い、サインカーブを fitting して補正した。各熱式風速計については、 $3H$ 高さに支持した板上に並べ、複数のセンサ向きで器差をチェックした。結果として指向性は小さかったので、センサ毎に一律に補正 (最小値 0.885、最大値 1.113) を行った。



ポイドモデルの風速計設置位置

街区モデルの全体配置状況



街区モデルの風速計設置位置 (左から ケース1, ケース2, ケース3, ケース4)

図1. モデルの配置状況ならびに風速計の設置位置 (ポイドモデルと街区モデル)

3. 実験結果

図2に、10分平均の取得サンプルの風向・風速の散布図の例を示す。これは街路モデルのケース2の例だが、強風の取得データの大半は風向0度を中心とした±45度以内に収まっている。他のケースでも概ね同様であった。

図3は、風速比と基準風速の関係をプロットした一例である。基準風速が1m/s以下では、風速比のバラツキが大きくなっている。他の地点についてもほぼ同様の結果となっているため、以下の解析では、基準風速が1m/s以上のデータについてのみ使用した。

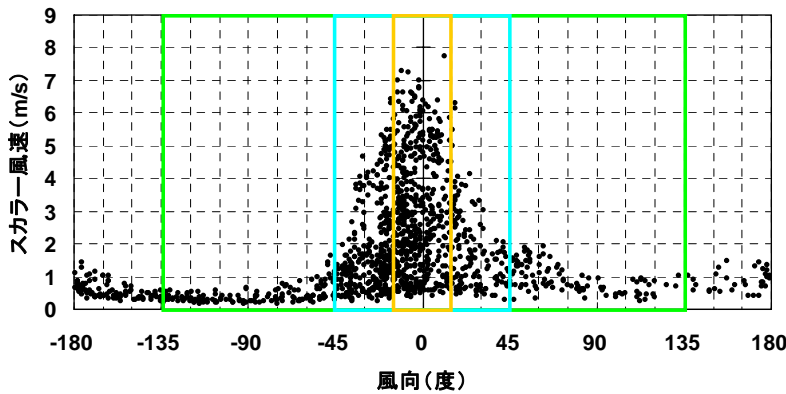


図2. 取得データの風速・風向散布図(街路モデルのケース2)

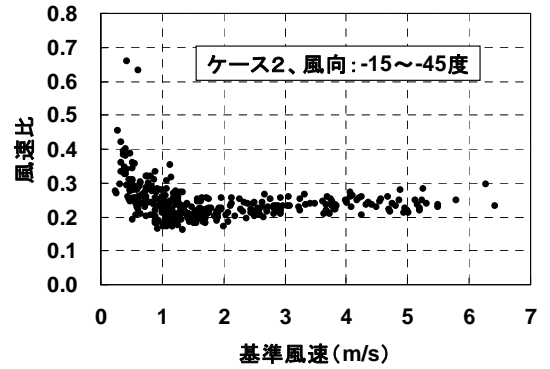


図3. 風速比の風速依存性

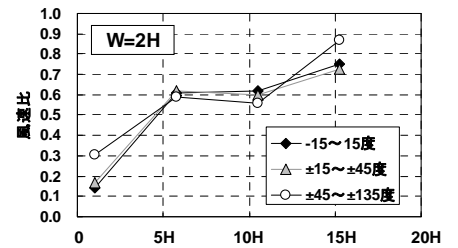
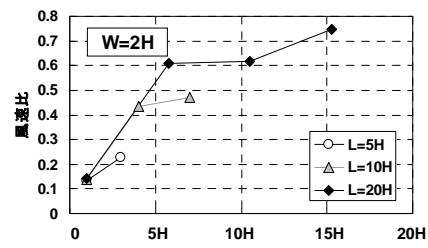
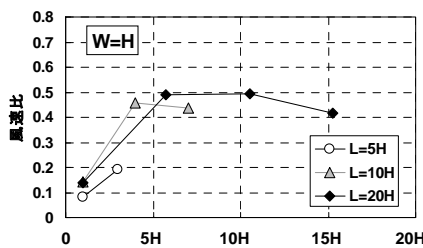
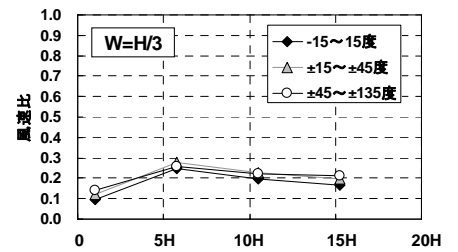
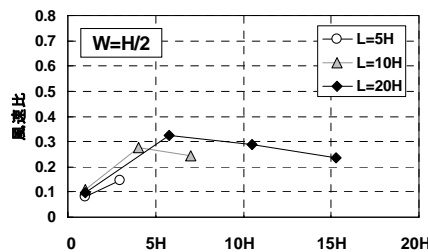
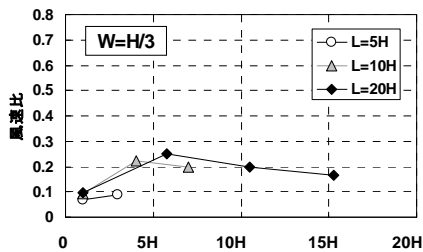


図4. ボイドモデルにおける風速分布(風向±15度、街路幅 W と街路長 L による比較)

図5. ボイドモデル風速分布(風向変化)

(1) ボイドモデルの結果

図4は、ボイドモデルにおける風速比の分布を表わしたもので、風向が±15度の場合の結果である。いずれの街路幅においても最も風上側の地点は風上側の壁のwake領域に入っており風速は弱い。距離5H程度までは増加し、それ以降は安定しないし、やや減少する分布となっている。再付着の位置が概ね5Hに相当していると思われる。最も風下側のポイントはいずれの街路長さでもやや風速が弱まる傾向にあり、風下側の壁の影響が現れているものと思われる。ただし、街路幅が最も広いW=2Hだけは最も風下側が最大値を示す分布となっており、風下壁による反流が弱まったものと思われる。

全体としては、街路幅が広がるほど街路内風速は増加する傾向が明らかで、街路幅H/3に対して、H/2ではおよそ1.5倍、Hでは2.5倍、2Hでは約3倍となっている。少なくとも街路幅2Hまでは、街路幅を広げるほど風速の増加には寄与するといえる。

図5は、街路幅が最も狭いH/3と最も広い2Hの場合について、基準風の風向による差異を表わしたものである。今回は取得データの風向が限定されているため、風向による分布の差異は明確ではない。

(2) 街区モデルの結果

図6は、街区モデルの風向に平行な街路に沿った風速分布を表わしたものである。ここでは、風向±15度の場合と、風向±15~45度について示している。街路幅が狭いW=H/2のケースでは、最大値は交差点部分に現れているが、街路に沿った分布は、予想に反して風上側から交差点に近づくに従って漸増する分布となっている。ただし、交差点の前後を同時に測定したケース2では、交差点の風下側の方が風上側よりも風速が僅かながら大きく、他のケースと整合していない。街路幅Hの場合は、風速比が全体に増大し、街路に沿った分布はほとんど見られず交差点部分が特に強風となる傾向も見られない。なお、風向による分布の変化はあまり明確ではない。

図7は、風向に直交する街路に沿った分布である。測定している横方向の街路の幅は一定なので、いずれの配列でも交差点から遠いエリアの風速に大きな差異はない。ただし、交差点部分については街路幅の違いが明確に現れている。なお、交差点から外れた最も交差点に近いポイントは、極端に弱風域となっており、それより街路内の奥に少し入った部分で風速が増加している。これは、風速計を街路中心に設置しているため、交差点から僅か

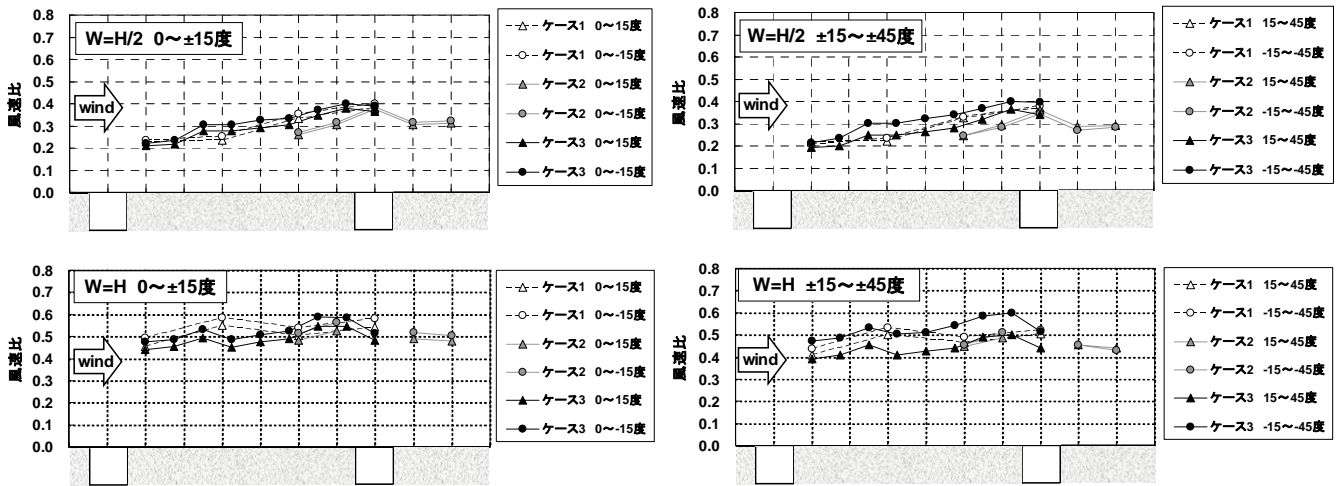


図6. 街区モデルにおける風向に平行な街路に沿った風速分布(左:風向-15~15度、右:風向±15~±45度)

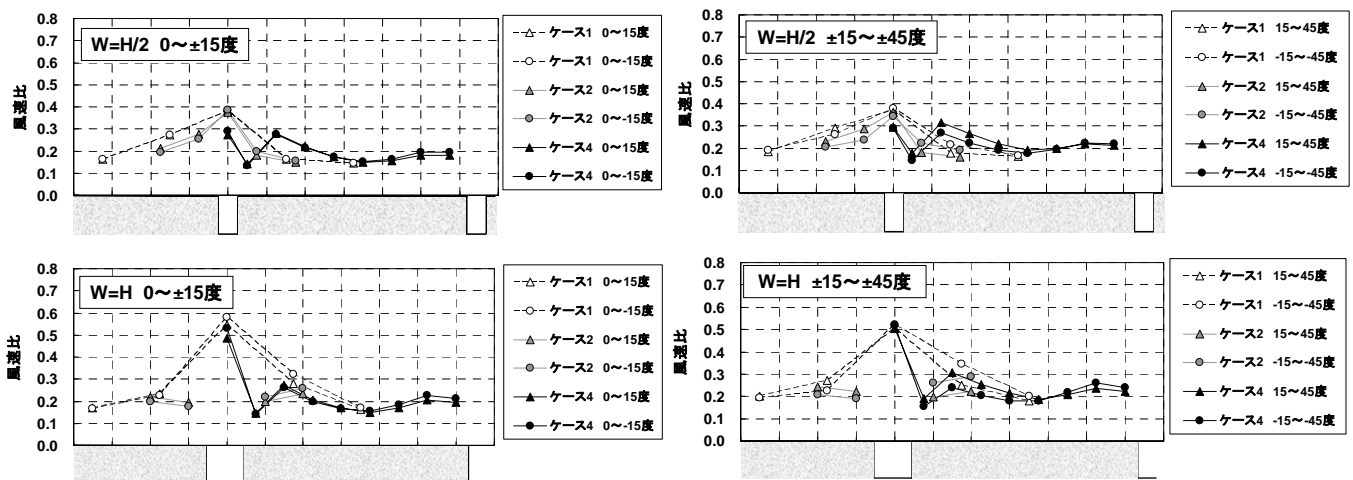


図7. 街区モデルにおける風向に直交な街路に沿った風速分布(左:風向-15~15度、右:風向±15~±45度)

に外れたポイントが、風向に平行な街路からの流入風の wake 領域に入ったためと考えられる。

4. まとめ

屋外のスケールモデルを用いた自然風下における街路内風速の測定を行い、基本的な街路形状の風速比を求めた。今回の街路風の測定は、街路中心でのポイント測定となっているため、街路全体の風環境を把握するには限界がある。交差点付近など、局所的に複雑な気流場が形成される部分では、特にその影響が顕著となる。なお、測定高さについても、今回の $H/3$ という高さが妥当かどうか検討の余地がある。

空間代表性を確保するという意味では、濾紙面蒸発法による伝達率測定を併用することも今後の展開として考えられる。

謝辞

今回使用したスケールモデルサイトは、科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究(CREST), 研究代表者: 東工大・神田学によるものである。実験にあたり協力いただいた齋藤直樹・丹羽健次郎の両名に心から感謝いたします。

参考文献

- 1)加藤信介:市街地の風通しはどのように計られるか,日本風工学会誌,第32巻,第4号,pp.421-423,2007.10
- 2)ト 震・加藤信介・石田義洋・黄 弘:通風換気性能に関する超過確率に基づく風環境評価の提案とその空堀モデルへの適用—市街地の風環境に関する研究(その1),日本建築学会環境系論文集,629,pp.903~910,2008.7
- 3)モハメドバディ・加藤信介・石田義洋・黄 弘:通風換気性能に関する超過確率に基づく風環境評価の提案とその空堀モデルへの適用—市街地の風環境に関する研究(その2),日本建築学会環境系論文集,634,pp.1391~1400,2008.12
- 4)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,日本建築学会計画系論文集,361,pp.10~20,1986.3
- 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)成田健一: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,日本建築学会技術報告集,第32号,pp.211~214,2010.2
- 7)成田健一・ほか:皇居を中心とした東京都心部の気温分布特性の解析,日本建築学会大会学術講演梗概集,D-1,pp.919~920,2009.8
- 8)神田学・稲垣厚至:年境界層における乱流相似則と組織構造,ながれ,第26号,pp.361-368,2007
- 9)Narita, K. et al.: Outdoor Scale Model Experiments of the Local Bulk Transfer Coefficient for Urban Surfaces with a Water Evaporation Method. Proceedings of ICUC6 (Göteborg, Sweden), pp.72-75, 2006

*日本工業大学工学部建築学科・教授・工博

**防衛大学校地球海洋・准教授・理博

*Professor, Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.

**Assoc. Professor, National Defense Academy of Japan, Dr. Sci.