

屋外模型都市実験の性能評価と都市熱環境の検討

東京工業大学	学生会員	○河合 徹
国際協力銀行	非会員	高島 亜紗
東京工業大学	学生会員	金賀 将彦
東京工業大学	正会員	神田 学

1. 目的

都市における複雑で独特の気候形成をシステマティックに把握するためには、従来行われてきた現地観測（鉄塔観測、航空機観測、衛星観測等）、風洞実験からのみの取り組みでは必ずしも十分ではない。例えば、現地観測は実現象に基づいた有益な情報を提供するが、測定項目がある程度限定されること、都市の多様性（構成要素）、非一様性（幾何構造）を制御するのが難しい問題があり、風洞実験はシステマティックな測定が行える一方、小スケールに限定されることや主要なエネルギーの供給源である放射条件を制御するのが難しい問題がある。これら両者の欠点を補完することを目的とした新たな試みとして、私達は2003年4月より屋外における模型都市実験を行っている。屋外模型都市実験では、日射、自然風条件下で構成素材、幾何構造を自在に制御したシステマティックで詳細な測定を行うことができる。模型都市は小スケールと準実スケールの2種類を作成した。小スケールモデルは幾何構造を容易に変化させることができ、準実スケールモデルはより現実的で詳細な観測を行うことができる。本編ではこれらを比較することにより物理的相似性の検討を行い、基礎的な都市熱環境の評価を行った。

2. 実験概要

埼玉県日本工業大学の敷地内(36°01'N, 139°42'E)に隣接するスケールの異なる2種類の屋外模型都市(図1)を作成した。観測期間は2004年10月から2005年3月である。小スケール模型都市(1/50スケール)は一边0.15m、立方体のコンクリートブロックを12m×12mの領域に配置して作成し、大スケール模型都市(1/5スケール)は一边1.5m、壁面厚さ0.1mのコンクリート枡を100m×50mの領域に配置して作成した。共に整列配置であり、建物配列密度(建蔽率)は0.25である。キャノピー熱収支($R_n = G + H + IE$)を測定するために、表1に示した項目に対して測定を行った。地中伝導熱(G)は極薄の熱流板を地表面(単位領域)に隙間無く張り付け、表面を同素材のモルタルで薄くコーティングすることにより測定している(図4)。このように G を直接測定し、長短波放射計を用いて測定し正味放射量(R_n)(図3)より差し引くことにより完全に収支の閉じた乱流輸送量($H + IE (=R_n - G)$)を算出することができる。併せて、小型超音波風速計(5cm スパン)、 H_2O 濃度計を用い、顕熱(H)、潜熱輸送量(IE)を渦相関法により測定した(図2)。

表1 観測機器と測定項目

測定項目(測器)	設置高度、解像度	主な算出物理量
長波・短波 (Eko:MR40)-図2	3H	放射収支、放射温度
風速3成分 (Kaijo:DA600,50Hz)-図2	2H	風速、風向、運動量・顕熱フラックス、大気安定度、摩擦抵抗係数
H_2O 濃度 (Li-cor:LI-7500,20Hz)-図2	2H	潜熱フラックス
表面熱流束・温度 (Captec:MF-300,Type T 熱電対内蔵)-図3	1/50 scale : 5×5cm 1/5 scale : 30×30cm	地中伝導熱、表面温度

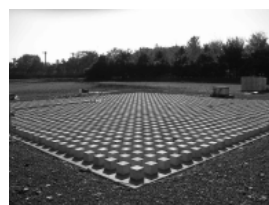
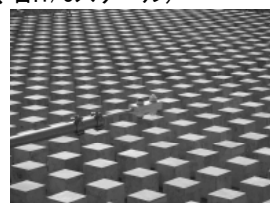
図1 屋外模型都市
(左:1/50スケール、右:1/5スケール)図2 超音波風速計と
 H_2O 濃度計

図3 長短波放射計

図4 熱流板の設置
(左:1/50スケール(床面)、右:1/5スケール(鉛直壁))

キーワード 屋外模型都市実験, 熱収支, 相似性, エネルギーインバランス

連絡先 〒152-8852 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学 石川台 4 号館 403 号室 TEL 03-5734-2768

3. 相似性の検討

本実験より得られた結果をスケールの異なる実都市へ反映させるためには相似性の検討が必要である。物理的な相似性としては(a)放射、(b)乱流、(c)熱慣性の相似性を満たす必要があるが、(a)放射は波長が建物スケールに比べて十分に小さいため常に満たされている。このため本編では(b), (c)に対する検討を行った。

(1) 乱流の相似性

超音波風速計を用いて測定した摩擦抵抗係数(C_D)を両モデルで比較し(図5)、流れに対する相似性の検討の指標とした。両者の値は概ね一致する結果となり、スケールの相違による影響は見られなかった。また、風向がストリート方向からずれるにつれて C_D の値は大きくなる結果となり、LES による数値実験の結果(Kanda et al, 2005)を支持する結果が得られた。

(2) 熱慣性の相似性

地中伝導熱(G)の正味放射量(R_n)に対する履歴(図6)、放射温度(T_r)(図7)を両モデルで比較した。 G の R_n に対する履歴は値、ループ形状とも両者に大きな相違は見られず、スケールの違いが熱収支に及ぼす影響が比較的小さくなる結果を得た。一方放射温度は 1/5 スケールが 1/50 スケールに比べて夜間冷めにくく、日中温まりにくい傾向が見られ、熱慣性の相違の影響が顕著に現れる結果となった。

4. 熱収支

(1) エネルギーインバランス

渦相関法より算出した乱流フラックスが熱収支の残差より算出した値を過小評価する、所謂エネルギーインバランスの問題が森林観測、数値実験(Kanda et al, 2004)より指摘されている。都市部では地中伝導熱(G)を直接測定することが極めて難しく、これまで報告事例はないが、本実験では熱収支の残差($R_n - G$)より算出した乱流輸送量を渦相関法より算出した値($H + IE$)と直接比較することが可能である(図8)。両者の比は凡そ 1:0.7 となり、既往の報告事例と概ね一致する結果となった。

(2) 地中伝導熱の風速依存性

各熱収支項を直接測定することにより、エネルギーインバランスの影響を受けない厳密な熱収支分配の検討が可能である。本編では上空風速と地中伝導熱の日最大値と正味放射量の比(G/R_n)の関連性を検討した(図9)。地中伝導熱と正味放射の比は上空風速に明確に依存しており、都市のエネルギー配分は上空風速に大きく影響を受ける結果となった。

謝辞

本研究は科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業(代表:神田学)による財政的援助を受けた。また、実験を遂行するにあたって日本工業大学の成田健一教授、武藤順君より多大な協力を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- ・M.Kanda, A.Ingaki, M.O.Letzel, S.Raasch, T.Watanabe : 'LES Study of the Energy Imbalance Problem with Eddy Covariance Fluxes' : Boundary Layer Meteorology, Vol.110, pp.381-404, 2004.
- ・M.Kanda : 'Large Eddy Simulations on How Surface Geometry of Building Array Affect Turbulent Flow Structures' ; Boundary Layer Meteorology, (in Press)

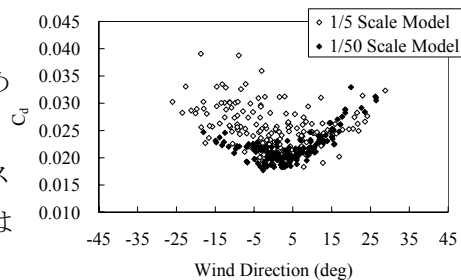


図5 摩擦抵抗係数(C_D)と風向(ストリート方向から時計回りに正)の関係

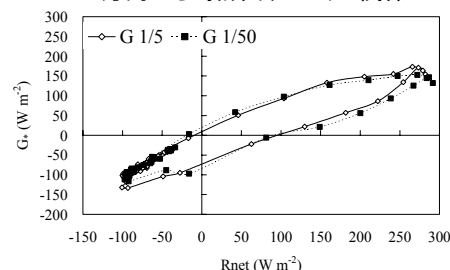


図6 正味放射量(R_n)に対する地中伝導熱(G)の履歴

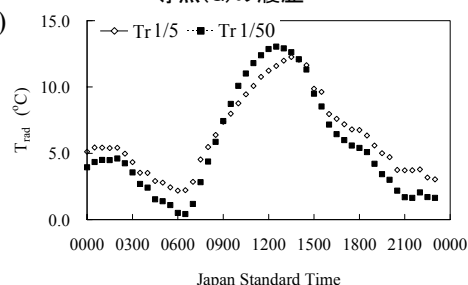


図7 放射温度(T_r)の比較

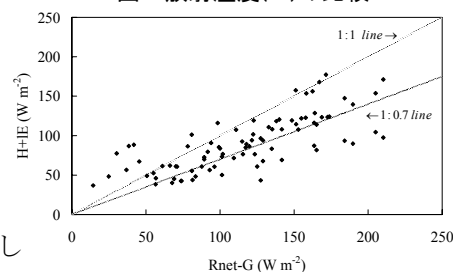


図8 熱収支法による $H+IE (=R_n - G)$ と渦相関法による $H+IE$ の相関

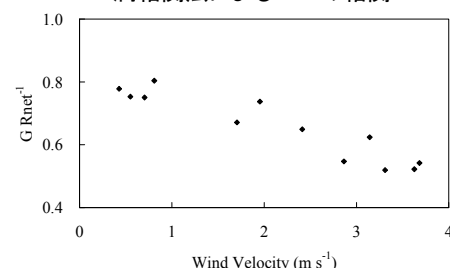


図9 地中伝導熱(日最大値)と正味放射量の比と上空風速の関係