

スケールモデルによる都市キャノピーのエネルギー交換過程に関する野外実験 その1. 実験概要と濾紙面蒸発法による輸送速度の評価

正会員 〇武藤 順*
同 成田健一**

都市気候 熱収支 対流熱伝達率
蒸発 市街地風 パルク係数

1. 序

都市域の建築外部空間に形成される温熱環境を把握するためには、キャノピー層(屋根の頂点から下の気層)内の熱輸送メカニズムの解明が不可欠であり、都市全体の熱環境を考える上でも重要な課題である。

建物表面から大気への乱流熱輸送の評価手法としては、乱流熱 flux(H)を地表面熱収支の残差 $H=Rn - G$ として導く方法が一般的であるが、正味放射量(Rn)及び伝導 flux(G)の評価における誤差が集積する結果となるため、誤差が大きくなるという欠点がある。そこで、乱流 flux を精度よく測定する方法として熱伝達と物質伝達のアナロジーを利用するアプローチがあり、すでに風洞実験に適用されてきた¹⁾。しかしながら、風洞実験では乱流スケールも自然風とは異なり、風向変動もないため、実現象への適用には限界がある。またアナロジーの妥当性についても、これまで平板等の単純な流れ場でしか検証されていない。

本研究では、本学キャンパスに作成したスケールモデル街区(図1)を用い、濾紙面蒸発法を用いて乱流 flux の野外実験を行い、自然風下での輸送速度のふるまいを構成面別に評価を行った。

2. 実験概要

高さ 70cm に長短波放射計を設置して街区の放射収支を常時測定するとともに、都市キャノピー構成面である 4 方向の鉛直壁面、屋上面、床の建物間面、交差点面の計 8 面の伝導 flux(G)と表面温度(T_s)を測定するため、熱流板を各面に貼り付けた。風下側に気温プロファイル測定用の熱電対を 90cm まで設置し、また超音波風速温度計を高さ 30cm に設置した(図2)。濾紙面蒸発法に用いる試料は、アクリル板に 1mm 厚の濾紙を貼り付けたものを使用した(図3)。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でいる。濾紙を十分湿らせた後、濾紙表面直下に表面温度を測定するためサーミスタ温度センサ(1/100℃精度)を挿入した。測定対象位置に試料を夏季 20 分間、秋季 30 分間、数面ずつ同時に設置し、その間の気温、湿度、風速、日射量等を測定した。さらに水分蒸発量を電子天秤(1mg 精度)で秤量した。試料の運搬および

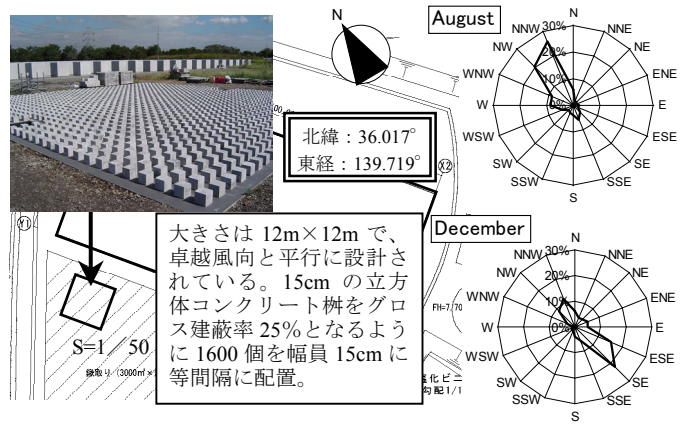


図1. 観測サイトの概要と現地の風配図

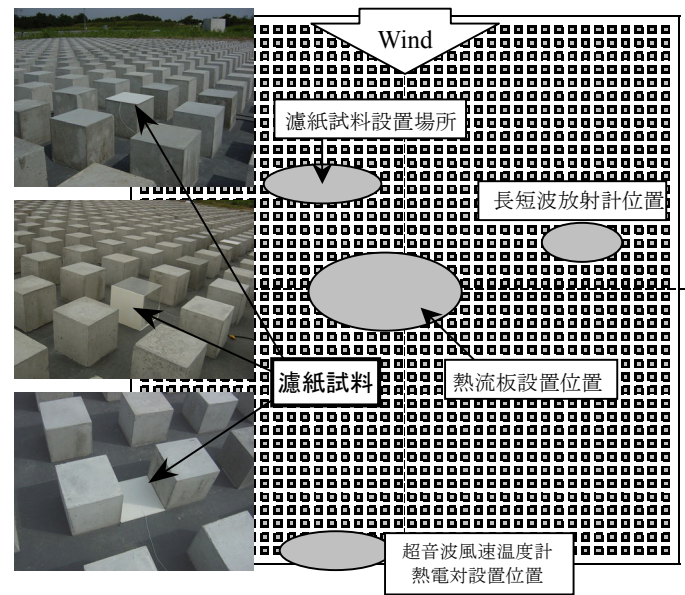


図2. モデルの配置状況と測定対象域および測器配置

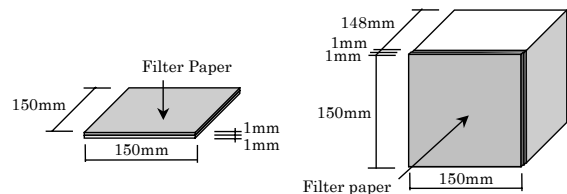


図3. 濾紙面蒸発法に用いた試料

秤量中は水分蒸発を防ぐため密閉袋を用いた。屋上面は基準面として常に測定している。

3. 自然風の把握

自然風の特徴を把握するため、濾紙面蒸発実験中の風向を0.1秒毎に求め、その標準偏差と頻度分布、および風速との関係をプロットした(図4)。風速の増加に伴い、風向の振れ幅が小さくなる傾向が見られ、強風時ほど風向が安定している。平均的には主風向に対し±30°程度の振れ幅で変化していることがわかる。

4. 野外での濾紙面蒸発法の妥当性

次に、秤量による蒸発量(E)と表面温度、気温・湿度から、次式を用いて物質輸送速度 $WT(=C_E U)$ を算出した。輸送速度 $WT(m/s)$ を風速 $U(m/s)$ で除して無次元化したものは、スカラー輸送のバルク係数 C_E と呼ばれる。

$$E = WT(\rho_s - \rho_a) = C_E U(\rho_s - \rho_a) \quad [g/m^2 \cdot s]$$

WT : 輸送速度 [m/s] ρ_s : 表面の飽和絶対湿度 [g/m³]
 C_E : バルク係数 [無次元] ρ_a : 空気絶対湿度 [g/m³]
 U : 風速 [m/s]

(1)日射影響の検討 日射のある条件で濾紙面蒸発法における表面温度測定に誤差が生じていないかを確認するため、日射とバルク係数の関係を検討した(図5)。日射量の増加に伴う系統的なズレは認められなかった。

(2)バルク係数の風速依存性 最もデータ数が多い屋上面について、風速とバルク係数 C_E との関係を図6に示した。

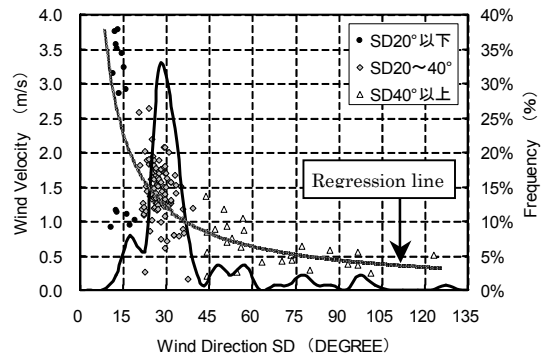


図4. 風向変動の標準偏差の頻度分布と風速の関係

風速 1m/s 以上ではバルク係数がほぼ一定となっている。すなわち、1m/s 以上の風速条件では建物による形状が流れ場を決める支配的要因となっており、十分乱れた乱流条件とみなせることを意味している。

(3)大気安定度の影響 物質輸送が浮力による影響を受けているかを確認するため、風の効果(慣性力)に対する浮力の効果の比を表すバルク・リチャードソン数 Rb を算出し、バルク係数との関係を検討した(図7)。 Rb が負になるほど浮力による自然対流が卓越することを意味するが、系統的な変化傾向は見られなかった。

5. 風洞内と自然風下の輸送速度の比較

壁面、建物間面、交差点面の物質輸送速度(WT)と同時に測定していた屋上面の物質輸送速度(WT_s)から輸送速度比(WT/WT_s)を求めた。既に得られている風洞実験値との比較を図8に示す。風向の振れ幅に関係なく、風速 1m/s 以下を除くと、壁面は風洞実験値と全体傾向が概ね一致することがわかった。しかし、交差点面や建物間面ではバラつきがまだ大きく、風向変化の確認までには至らなかった。

文献: 1) 成田ほか: 日本建築学会計画系論文集 No.527 69-76 2000,1

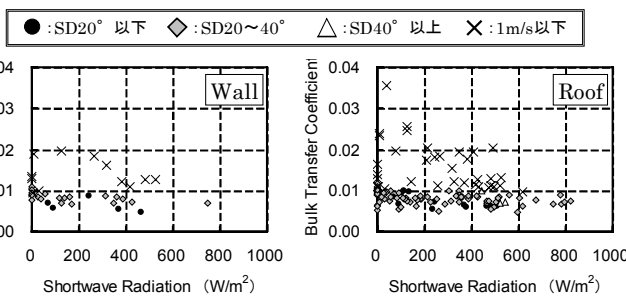


図5. バルク係数に及ぼす日射影響の検討

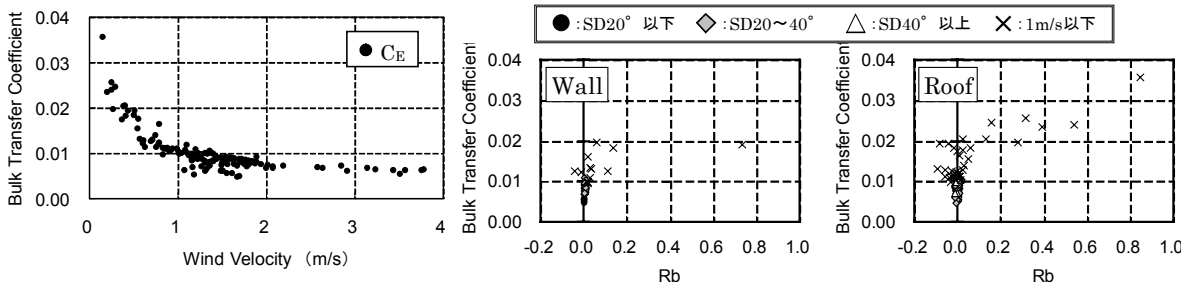


図6. バルク輸送係数と風速の関係

図7. バルク輸送係数とバルクリチャードソン数の

< 謝辞 > 本研究は、科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業の「都市生態圏一大気圏一水圏における水・エネルギー交換過程の解明」(代表者東京工業大学 神田学)によるものである。記して謝意を表す。

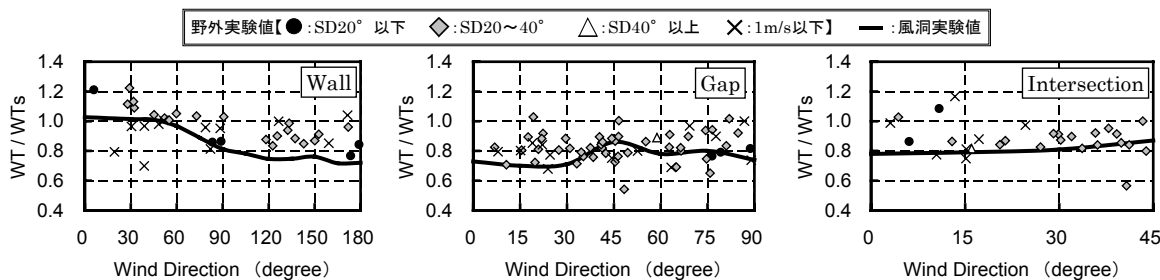
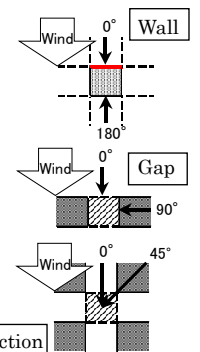


図8. 各構成面における屋上面で基準化した輸送速度の風向依存性—風洞実験との比較



* 埼玉県越谷市立栄進中学校

* Eishin Junior high school

** 日本工業大学工学部建築学科・教授・工博

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