

都市表面における熱輸送速度の評価に関する実験的研究

—スケールモデルによる野外実験と風洞実験の比較—

1023142 大久保 典明 1023335 戸村 裕 1023347 永山 光太郎

指導教員 成田 健一

1. はじめに

都市部の気温が周辺部の気温より高くなることをヒートアイランド現象という。この原因の一つに地表面の舗装や建造物による熱容量の増加があげられるが、都市における熱輸送のメカニズムははっきりと解明されていない。

これまで風洞実験において熱輸送の研究が行われてきたが、風洞内の風は定風量で、風向変動もないため、風洞で得られた結果が実現象へ適用できるとは限らない。そのため野外で実験を行い自然風下ではどうなるのかを検証した。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、濾紙面水分蒸発法を用いて輸送速度の評価を行った。熱輸送速度を熱収支の残差から求めようとすると、測定誤差が集積し正確な値を算出するのが難しいため、濾紙面水分蒸発法から求まる物質輸送速度と熱輸送速度の相似性を利用した。ただ、複雑な面でも相似性が適用できるのかどうかは未だ解明されていない。

2. 実験概要

スケール 1/5 と 1/50 の街区において濾紙面水分蒸発実

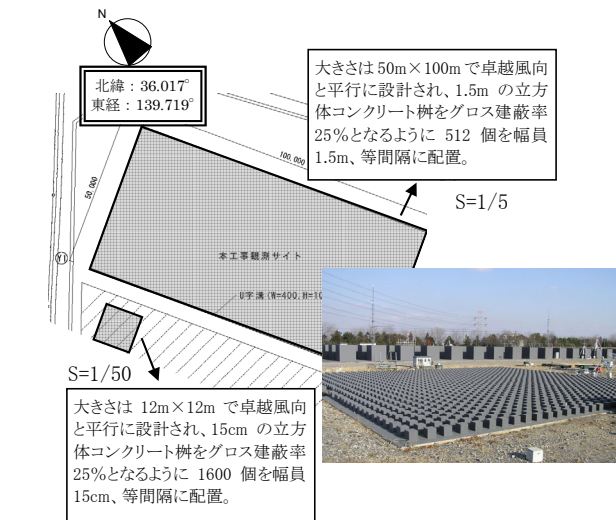


図 1. 観測スケールモデル街区の概要

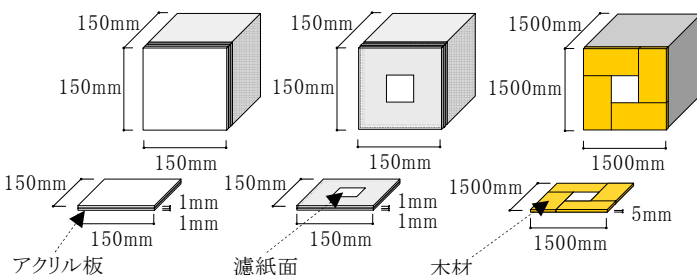


図 2. 各測定に用いる試料の寸法

験を行い、輸送速度を算出した。実験に用いる試料はスケール 1/50 の場合 15cm、1/5 のとき 50cm のアクリル板に 1mm 厚の濾紙を貼り合わせたものを使用した。スケール 1/50 では建物寸法と同じ 15cm 角の濾紙、その 1/9 となる 5cm 角濾紙の 2 パターン、スケール 1/5 では同じく建物寸法の 1/9 となる 50cm 角の濾紙を用いた計 3 パターンを行った(図 2)。濾紙の 9 分割表記については図 3 とする。

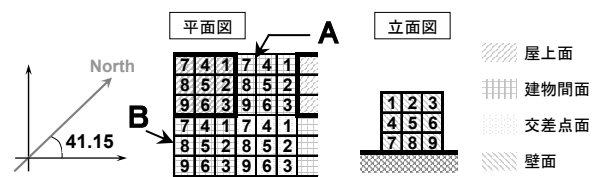


図 3. 分割測定の表記

濾紙を十分湿らせた後、表面温度を測定するため濾紙表面直下に直径 1mm のサーミスタ温度センサ(1/100℃精度)を挿入した。測定面は屋上面、4 方向の鉛直壁面、2 方向の床の建物間面、交差点面の計 8 面で、スケール 1/5 では鉛直壁面の南面は測定を行わなかった。測定対象位置に試料を春季 20 分間、夏季・秋季 15 分間設置し、輸送速度を求めた。

3. 輸送速度の算出とバルク係数

濾紙面の水分蒸発量 E と濾紙表面温度、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 を風速 U で除して無次元化したものはバルク係数 C_E と呼ばれる。

$$E = C_E U (\rho_s - \rho_a) = WT (\rho_s - \rho_a) \quad [\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}]$$

C_E : バルク係数 [無次元] ρ_s : 表面絶対湿度 [gm⁻³]
 U : 風速 [ms⁻¹] ρ_a : 絶対湿度 [gm⁻³]
 WT : 輸送速度 [ms⁻¹]

4. 風洞内と自然風での輸送速度比較

野外で行った 1/50 スケールの全面濾紙実験と風洞実験の輸送速度を検討する。野外実験において日射の影響を検討したが、日射による影響は見られなかった

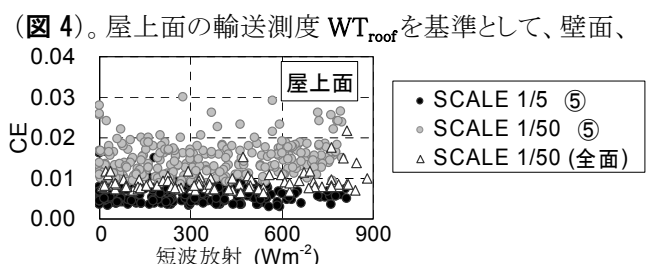


図 4. バルク係数と日射量の検討

1023335 戸村 裕 1023347 永山 光太郎 1023142 大久保 典明

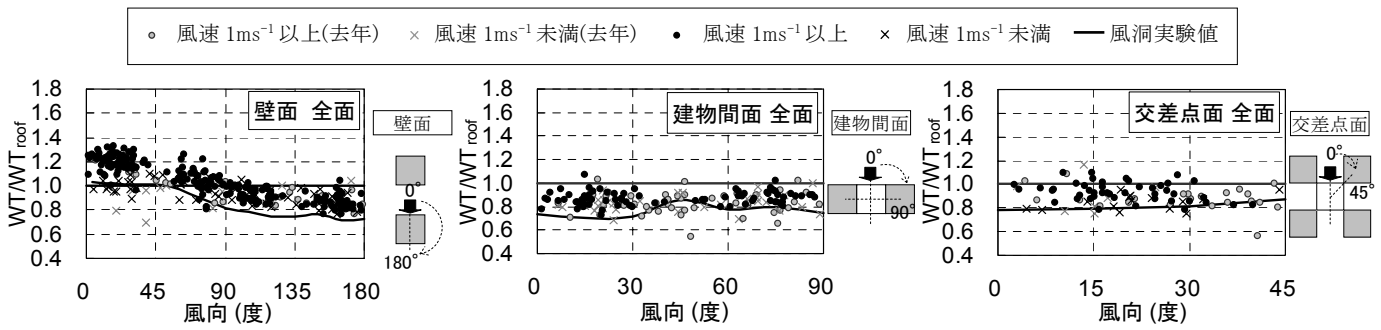


図 5. 野外と風洞実験値の比較

建物間面、交差点面の輸送速度 WT を基準と同時に測定して、輸送速度比 WT/WT_{roof} を求めた。風向を定義し、すでに得られた風洞実験の結果と今回の比較を図 5 に示す。これを見ると風洞より自然風の実測値が大きく現れている。これは野外実験の屋上面の値が各面の値より小さいためだと思われ、屋上面において、スケール効果が他の面よりも強く現れたことが原因と思われる。スケール効果とは、濡

れた面を風が長く通過する場合、輸送速度が減少してしまうことをいう。しかしながら、輸送速度比は最大 0.4 ほどの振幅はあるものの、風洞実験と野外実験の傾向線はよく似ていることがわかる。

5. S=1/50 街区における輸送速度の面内分布

S=1/50 における面全体の輸送速度を知ることができたがこれは面全体であり、面内における輸送速度の分布までは分からない。各面における分布を調べるため前項で用いた濾紙の大きさを 9 分割し(建物寸法の 1/9 となる 5cm 角の濾紙)、それぞれの輸送速度を求めた。壁面、建物間面、交差点面の輸送速度 WT と同時に測定していた屋上面⑤の輸送速度 WT_{roof} から輸送速度比 WT/WT_{roof} を算出した。屋上面⑤を基準にしたのは風向による影響が少なく安定した値が得られるためである。風向の定義と、風向に

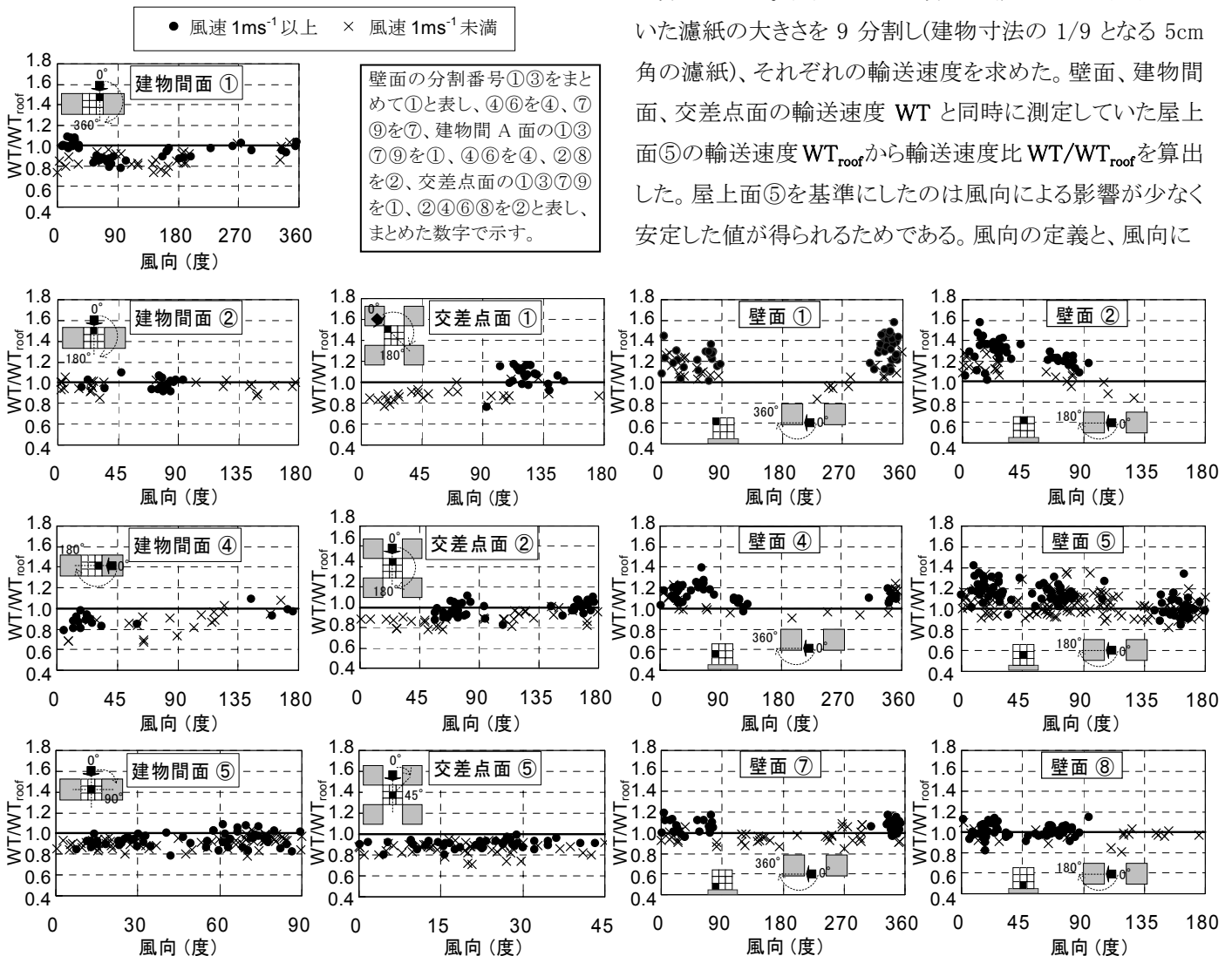


図 6. 1/50 スケールモデル街区における面内の輸送速度比分布

1023347 永山 光太郎 1023142 大久保 典明 1023335 戸村 裕

よる輸送速度比の関係を記したものを図 6 に示す。壁面、建物間面、交差点面ともに面の中心⑤は風向による輸送速度比の変化があまり見られず、壁面では中央よりも低い位置(壁面⑦、⑧)になると輸送速度が風向による影(壁面①、③)では、正面から風が当たるとき輸送速度比が大きくなり、風速を 1ms^{-1} 以上のものに限定すれば屋上面⑤の輸送速度よりも大きくなる。床面においては建物の風下側となる部分(建物間面①)における風向 90 度)では輸送速度比が小さくなり、逆に剥離域(交差点面①)における風向 120 度)では輸送速度比が大きくなる傾向が見られた。

6. 野外実験におけるスケール効果の検討

スケールが異なることに伴い、輸送速度にどのような違いが現れるのかスケール効果の検討を行う。検討方法は $S=1/5$ と $S=1/50$ の 9 分割面の中央(分割表記でいう⑤)を輸送速度比により比較する。気温の鉛直分布において、 $S=1/5$ で 3m 、 $S=1/50$ で 30cm 以上になると両スケールとも値がほぼ等しくなっている(図 7)。このことから

都市キャノピー(屋根の頂点から下の気層)の熱影響を受ける領域の高さは、スケールが異なっても同じ範囲までであることが分かった。スケール効果を精度よく

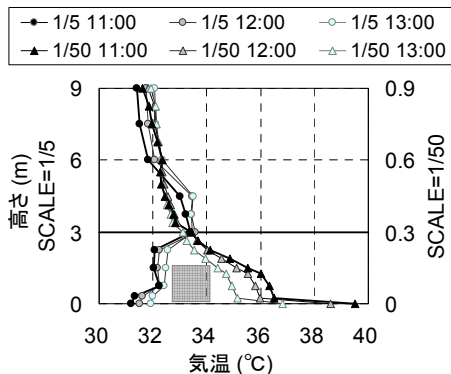


図 7. 気温の鉛直分布

検証するため、 $S=1/5$ と $S=1/50$ における輸送速度の同時測定を行い、それぞれのスケールにおける輸送速度の風速依存性を比較した(図 8)。その結果、それぞれの風速は異なっていたが、輸送速度の風速依存性にスケ

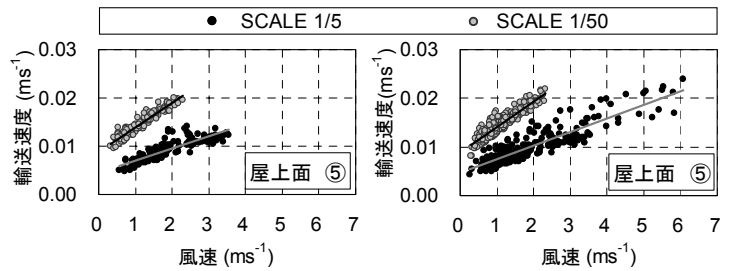


図 8. 同時測定時の風速依存性 図 9. 輸送速度の風速依存性

ール効果が現れ、同時測定とそれ以外の値とを混合しての比較でも、精度は変わらないものと分かった(図 9)。

測定の結果、輸送速度と風速の関係はスケールが小さいほど輸送速度が大きくなることが分かり、 $S=1/5$ 、 $S=1/50$ 相互の平均直線の傾向も、はっきりと現れた。屋上面と各面の輸送速度の比をとり定義した風向との関係を図 10 に示す。散布幅の相違があったものの風向変化による大きな違いはなく、ほぼ同じ傾向が見られたことからスケールに伴う変化(スケール効果)は少ないものと考えられる。反対に屋上面の風速依存性を示す図 9 ではスケール効果が大きく表れ、その他の壁面、建物間面、交差点面においても輸送速度と風速の関係に屋上面と同じようなスケール効果が現れた。これらのことから輸送速度と風速の関係においてスケール効果が現れるものの、輸送速度比と風向の関係では違いが現れないことが分かった。

7. まとめ

- ▼各面で野外の輸送速度比が風洞を上回ったが、野外測定の場合でも風洞と同じような風向依存性が現れた。
- ▼面内分布の壁面では中央より高い位置で、床面に関しては剥離域で輸送速度比が大きくなり、風向による影響を強く受けていた。
- ▼スケールが異なっても、各面において屋上面を基準としたときの輸送速度比は同じ結果となった。

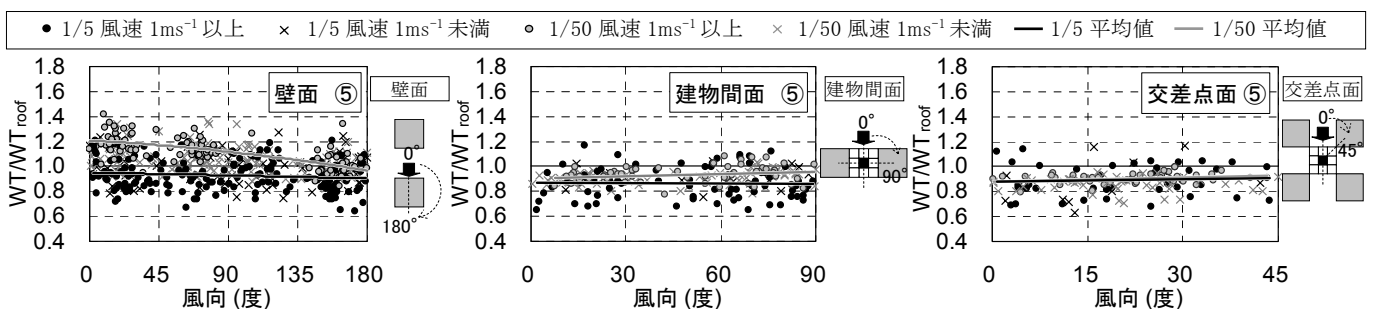


図 10. 輸送速度比の風向変化