

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（続報）

正会員 成 田 健 一*
正会員 関 根 毅**
正会員 徳 岡 利 一***

1. 序

地表面熱収支を基礎とした都市域の熱環境評価を考える上で、蒸発に伴う潜熱フラックスの把握は残された重要課題の一つである。本報は、市街地の気流性状と地表面蒸発量との関係を、風洞模型実験により検討した一連の研究である。すでに前報¹⁾において、模型幅を十分長く確保した2次元的な気流性状との関連について報告した。引き続き本報では、有限幅の独立建物模型およびその複数配列としての各種市街地モデルにおける結果について報告する。

粗度要素群を対象とした気流性状の研究例としては、Lettau²⁾、Wooding et al.³⁾、建築の分野では換気との関連を扱った勝田・後藤⁴⁾、周辺気流との関連を検討した関根・海野⁵⁾、勝田・ほか⁶⁾などがあげられる。しかしながら、そのような複雑な気流性状が地表面フラックスとどう関連しているかについてはほとんど明らかにされていない。これまでのいわゆる大気科学における熱収支の成果は⁷⁾⁸⁾、あくまでも均一な地表面を対象とし、しかも地表面の粗度のスケールに対して十分離れた領域における理論である。それに対し、われわれの生活空間とはまさに建物という粗度要素の内部であるといえる。特に潜熱フラックスに関しては、満足のいく実測法が確立されていない現在、これらの問題に対する実スケールでの検討は難しく、今のところ風洞実験によるアプローチが有力であると考えられる。

これまで粗度要素と蒸発量との関連を検討した風洞実験の例としては、海面の波浪による影響を念頭に蒸発面の起伏形状との関係を検討した Chamberlain の報告⁹⁾、わが国では防風林による影響を扱った佐藤・ほか¹⁰⁾および諸橋¹¹⁾等があるに過ぎない。これに対し、特にこれまでの風洞実験にはなかった塩分濃度変化による蒸発量測定法¹²⁾を導入し、さまざまな市街地模型に対する詳細な蒸発量分布を明らかにした点に本研究の特徴があるとい

えよう。

2. 実験方法

蒸発量の分布は、風洞の測定部に配列した小水槽（60×60 mm、深さ 50 mm）に塩水を満たし、各水槽の塩分濃度変化を高精度サリノメータ（精度±0.003‰）で検出することにより測定した。同時に風速・温湿度および表面温度の分布を、無指向性サーミスタ風速計、0.1 mmφC-C 熱電対、容量型湿度計および赤外線放射温度計等で測定した。風洞吹出口より working section までは 3600 mm で、その間に L 字の粗度要素（高さ 20 mm）を並べ、乱流境界層を発達させている。その他、実験方法については前報で詳述したので、ここでは特に変化があった場合についてのみ、その都度説明を加える。

実験条件としての風速・粗度配列等は、特に断らない限りすべて前報の2次元考察と同様である。結果の表示は蒸発速度 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) を水面温度に対する飽和蒸気圧と吹出口中央高さの蒸気圧の差 (mb) で除した蒸気圧基準の物質移動係数 k ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mb}$) を用いる。

なお本報では気流方向を X 軸、水平面内で直交する

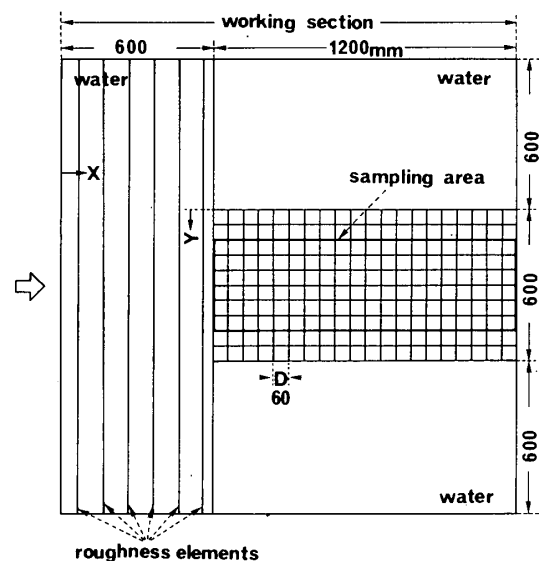


Fig.1 Arrangement of vessels for measuring evaporation around a cuboid model.

* 広島大学 助手・学術修

** 広島大学 教授・工博

*** 兵庫県住宅供給公社・工修（当時・大学院生）
（昭和 61 年 1 月 8 日原稿受理）

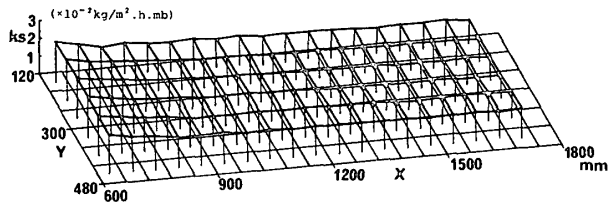


Fig. 2 Horizontal distribution of standard mass transfer coefficient (k_s) without model.

軸を Y, 鉛直方向を Z 軸とした。また, 長さについては前報同様, 水槽幅 $D (=60 \text{ mm})$ を基準として表示する。

3. 有限幅建物模型周辺の蒸発量分布

前報の 2 次元的取り扱いにおいては蒸発量の測定域を中心の 2 列に限定したが, ここでは建物周辺の水平分布を把握するため Y 方向の採水域を 6 列に拡大した。気流方向の配列個数は, 前回と同様 20 列とした。配置状況を Fig. 1 に示す。

まず模型による影響を模型のない場合に対する変化比で表示するため, 拡大した計 120 個の水槽について模型なしでの k の分布を測定した。結果を Fig. 2 に示す。測定範囲においては, Y 方向の均一性も確立されている。この値を物質移動係数の基準値 (k_s) とした。

(1) 模型幅の変化による影響

前回の 2 次元的な考察と比較するため, 模型幅 (W) を変化させた場合の分布を検討した。模型高さ (H) はすべて $2D$ で一定とし, $W = 2D \cdot 4D \cdot 8D$ と変化させた (各々 $2W \cdot 4W \cdot 8W$ と略記)。模型設置位置は, 現象が Y 方向について左右対称であると仮定し, 模型の中心軸を採水域の側方境界線 ($Y = 120 \text{ mm}$) と一致させた。

k/k_s の分布を Fig. 3 に示す。 W が広がる程 k/k_s の増加域も当然拡大する。そして $4W$ および $8W$ では, $2W$ ではみられなかった $k/k_s < 1$ の部分が模型後方に出現する。 Fig. 4 に模型前方および後方, 各々壁面から $D/2$ 離れた Y-Z 平面における湿度比 (VP) の分布を $4W$ を例に示した。模型前方では乾燥空気の吹き降ろし, 模型後方では wake 内の高湿空気の滞留が明らかである。一方模型側方に注目すると, W が小さいほど k/k_s は大きくなる傾向にある。これは W が狭いほど側方へ抜ける気流が多く, 逆に W が広がるほど上方を超える気流が多くなることと対応している。 Fig. 5 は模型の中心軸上について, 各ケースの結果を前報の 2 次元の場合 ($W = 30D$) と比較したものである。湿度比 $VP = 0.2$ の等値線を比較すると, W が小さいほど模型後方の wake が狭まることが明らかで, 表面近傍 5 mm の風速 (U_5) の回復も W が小さいほど早い。結果として, k/k_s の変化はそれらの変化と対応したものとなっている。模型直後の値に注目すると, $8W$ の場合においても 2 次元の場合と一致しておらず, W を 8 倍程度確保し

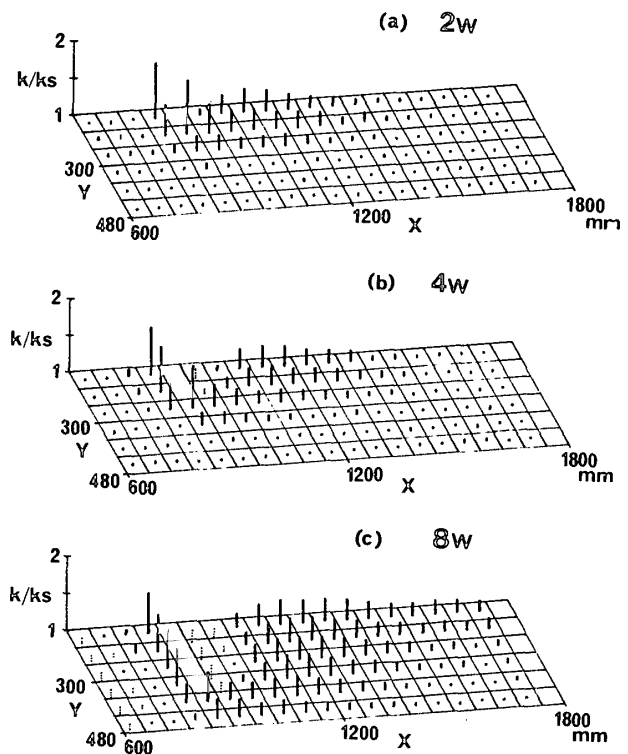


Fig. 3 Horizontal k/k_s distributions at various model widths.

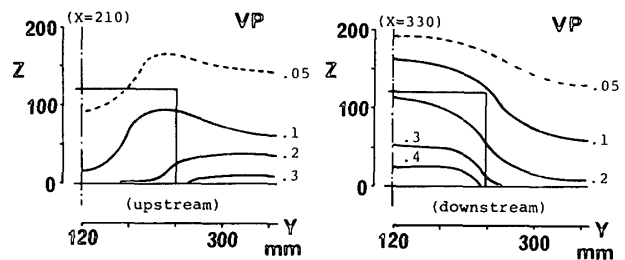


Fig. 4 Example of Y-Z plane VP isopleth at the distance of $D/2$ from both wind and leeward walls of the cuboid model.

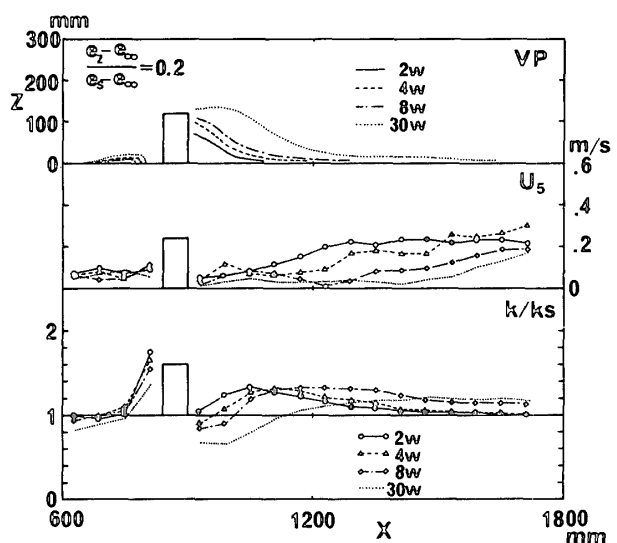


Fig. 5 Effects of model width on the distribution of VP , U_5 , and k/k_s on the center line of the model.

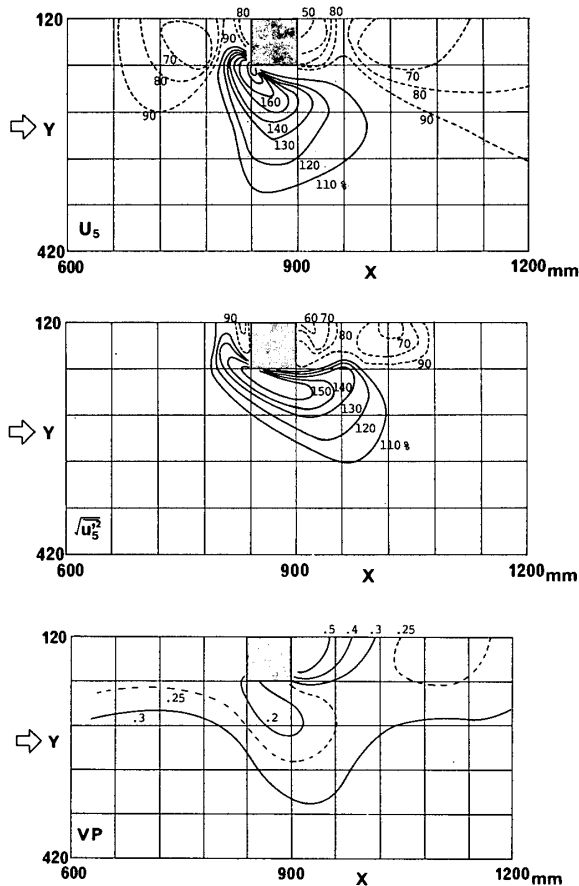


Fig. 6 Horizontal distribution of the changing ratios of mean wind velocity and R. M. S. of turbulent velocity, and VP near the surface ($z=5 \text{ mm} : H/24$).

てもなお側方流の影響を無視できないことがわかる。

(2) 表面近傍の風との関係

Fig. 6 に、 $2W$ の場合を例に表面近傍 5 mm ($H/24$) における平均風速 (U_s) および乱れ ($\sqrt{u_s^2}$) の変化比、さらに湿度比 (VP) の分布を示す。Fig. 3-a に示した k/ks の分布と比較すると、 k/ks は平均風速や乱れと単純な対応関係を示さないことがわかる。まず、模型風上側隅角部より広がるいわゆる強風域に対応して k/ks の増加が認められる。そこは VP の値も小さく、上空の乾燥空気が表面近くまで達していることがわかる。模型前方については、2次元の場合と同じく、明らかに吹き降ろしの影響で顕著な増加域となる。一方、模型後方は平均風速・乱れともに減少しているにもかかわらず、 $k/ks > 1$ となっている。これは VP の分布から、側方流の回り込みに起因する乾燥空気の供給が要因と判断できる。

以上のように、単体模型周辺の分布は気流の動きと対応して複雑な変化を示し、この場合には気流性状との単純な相関関係は得られない。

(3) 粗度による影響

Fig. 7 に粗度要素なし (R0 と略記) で測定した一例 ($2W$) を示す。ここで用いている ks は、当然ながら同

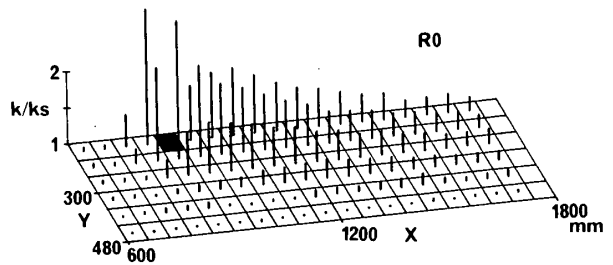


Fig. 7 Example of horizontal k/ks distribution without roughness.

じ R0 で測したものである。同配列の Fig. 3-a との比較からわかるように、境界層が薄くなると模型周辺域での変化が激しくなり、また影響範囲も拡大する。これは、R0 の場合基準とした ks の値自体が小さくなっていることも理由の一つであるが、それを差し引いても k/ks の変化は大きくなっている。

前報に示した 2次元での同様な比較では、wake の明らかな拡大 ($k/ks < 1$ の領域で 3 倍以上) が認められた。今回の場合模型後方での k/ks のピークはいずれも中心軸上で 3D 付近に現れており、両者に顕著な差異はない。鎌田¹³⁾、Ogawa et al.¹⁴⁾ は、有限幅の平板および立方体について詳細な風速分布測定を行い、やはり境界層厚が薄くなるほど wake が広がることを示しているが、その変化はいずれも小さい。今回のような水槽面積を単位とした測定ではそのような詳細な比較は困難であるが、いずれにしても、この点に関しては鉛直混合のみの 2次元の場合に比べ、アプローチ・フローの差異による影響は小さいといえる。

4. 規則的配列建物模型周辺の蒸発量分布

(1) 連続配列における気流方向変化

ここでは規則的配列の基礎として、気流方向についてのみ模型を連続的に配列した場合の結果を示す。前節の単独模型の場合と同じ測定領域に、Fig. 8 に示す 2 種の模型配列を設定した。(a) は $W=3D$ の模型を X 方向に街路間隔 D で配列したもの、(b) は (a) の各模型の中心部分を除いて X 方向の街路としたもので、間隔 D で並べた 2 個 ($W=D$) の模型を、同様に X 方向に街路間隔 D で配列した。なお模型高さはどちらも $(3/2)D \cdot D \cdot (1/2)D$ の 3 種類とした。

(a) については模型の中央および端、それに側方の代表的な 3 列について k/ks の変化を示した。模型を含む列 (●および▲印) の変化はほぼ平行しており、Y 方向街路の値は 3 列目以降ではかなりの安定した変化を示す。図では漸増傾向にあるようにみえるが、これは基準とする ks 自体が X 方向に漸減するため、 k の絶対値で比較すると、 $H=(3/2)D$ 以外はほぼ変わらないとみなせる。勝田・後藤は風速のプロファイルおよび風圧係数について、やはり第三～四列目以後は一定となると報告

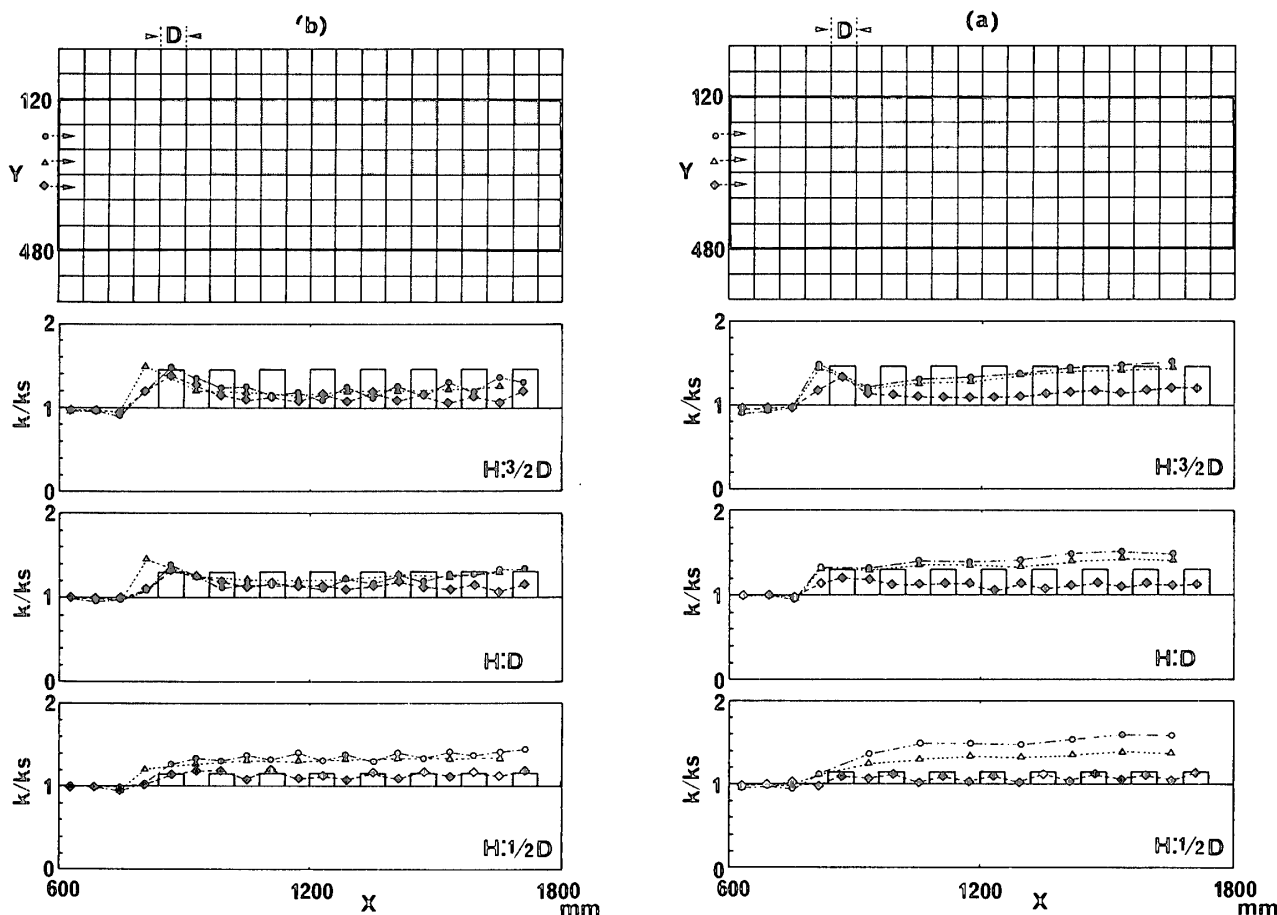


Fig. 8 Effect of continuous model arrangement—comparison of longitudinal k/k_s distributions at various models' heights.

しており、また蒸発面形状を変化させた Chamberlain の実験でも、やや意味あいは異なるが、拡散能を決める粗度要素はほんの限られたフェッチで十分であると報告している。高さ別に比較すると、 $H=D$ では最前列風上側と模型間がほぼ等しくなっているのに対し、それより高い $H=(3/2)D$ では最前列風上側の値が大きく、最初の街路は逆に小さくなる。一方、 $H=(1/2)D$ では模型高さが低いいため最前列風上側の吹き降ろしは小さく、模型配列とともに増加する。また、街路内の Y 方向の変化に注目すると、模型が低くなるほど中央と両端の差が大きくなる傾向にある。次に模型側方の列 (◆印) については、一部不明確な部分もあるが、基本的には街路部分より模型側方で大きくなるといえる。

(b) については、まず中央の X 方向街路列 (●印) に注目すると、側方 (◆印) の変化とは逆に、模型間よりも街路部分で大きくなる傾向にある。この傾向は、配列数が増加する風下ほど、また模型高さが高いほど顕著となる。すなわち、建物群の内部では風速が低下し、高温空気の滞留もおこるため、Y 方向街路からの流入がある交差点部分で k が増加する。模型列 (▲印) については全体的に (a) より小さくなる。これは街路がより閉鎖的な (a) の方が模型間で強い吹き降ろし、ある

いは循環流の発達がみられるためと思われる。

(2) 市街地モデルにおける蒸発量分布

次に、Y 方向にも模型を連続させた何種類かの市街地モデルを設定し、街路空間における蒸発量分布を検討した。配置パターンを Fig. 9 に示す。ここでは測定範囲を Y 方向 10 列、気流方向は $900 \leq X \leq 1500$ の 10 列とした。パターンの種類は大きく分けて 3 つに分類でき、正方形で一辺が $D \cdot 2D \cdot 3D \cdot 4D$ のもの (s シリーズ)、長方形で短辺を D とし長辺を $2D \cdot 3D$ としたもの (x および y シリーズ)、およびそれらの何種類かについて千鳥配列としたもの (* シリーズ) である。模型高さは $(3/2)D$ で一定とし、配列の最前列はすべて測定域の風上側境界線と一致させている。図では省略したが、模型配列が測定範囲の境界 (Y 方向および風下側) で切断される場合については測定範囲の外側にも模型を連続させ、一方境界にかからない場合については原則として外側にもう一列づつの配列を設定している。

k/k_s の分布の一例を Fig. 10 に示す。X 方向の街路に関しては、最も風上側の街路入口で最大値を示した後順次減少する傾向にあるが、Y 方向街路と交わる交差点部分では特に増加する。一方 Y 方向の街路に関しては、やはり両端で大きく中心部に向かって漸減する傾向にあ

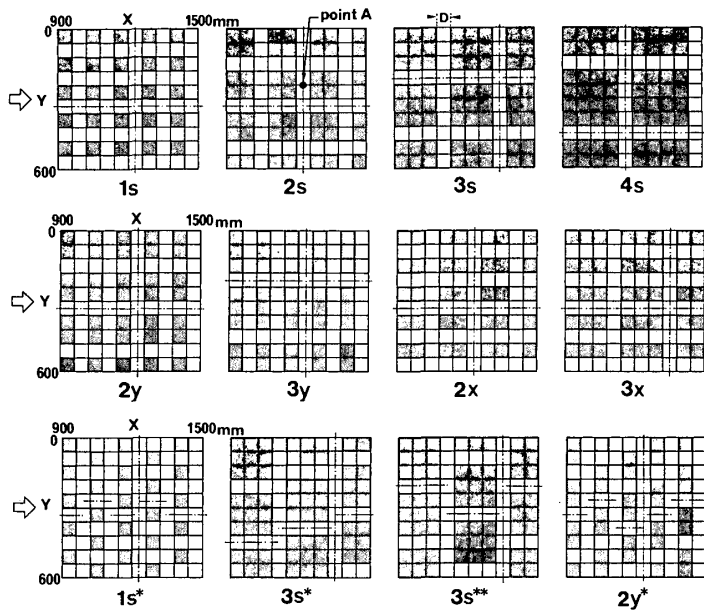


Fig. 9 Arrangements of models.

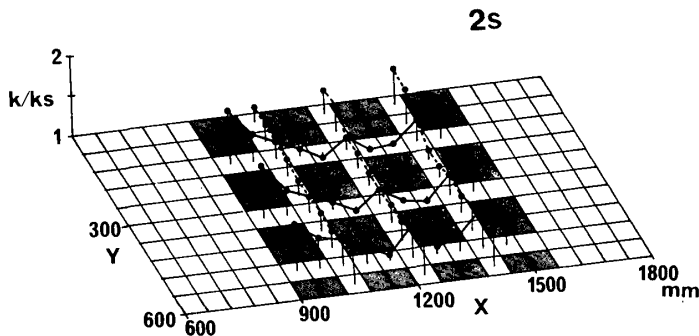


Fig. 10 Example of k/k_s distribution along streets.

る。以上のような街路に沿った変化を、各配列について比較したのが Fig. 11 である。なおここで示す変化は、Fig. 9 において鎖線を施した街路におけるものである。X 方向の減衰は建ぺい率が高くなるほど、言い換えれば Y 方向街路の密度が低くなるほど急激となる。また Y 方向街路の変化についても、X 方向の街路数が多いほど均一化する傾向にある。一方千鳥配列については、気流方向街路が模型に突き当たる部分で値が大きくなる点が特徴的であるが、全体的な傾向はほかと一致している。

以上のように、今回行った各配列に関しては、建物群内部の蒸発量低下が建ぺい率すなわち街路の数に左右されているという一般傾向がある。そこで、測定範囲全体についての k/k_s の平均値を計算し、建ぺい率に対してプロットしたのが Fig. 12 である。まず正方形(s シリーズ)の場合については、建ぺい率とともに急激に k/k_s が減少する。それに対し、長方形の場合には各々異なり、気流方向に長辺をもつ場合は同じ建ぺい率でも正方形より k/k_s が小さく、一方 Y 方向に長辺をもつ場合では正方形より大きくなる。この傾向は、長方形の縦横比が大きく、細長い平面形となるほど顕著となる。これは Y 方向に長辺をもつ場合、Y 方向街路密度が大きいために

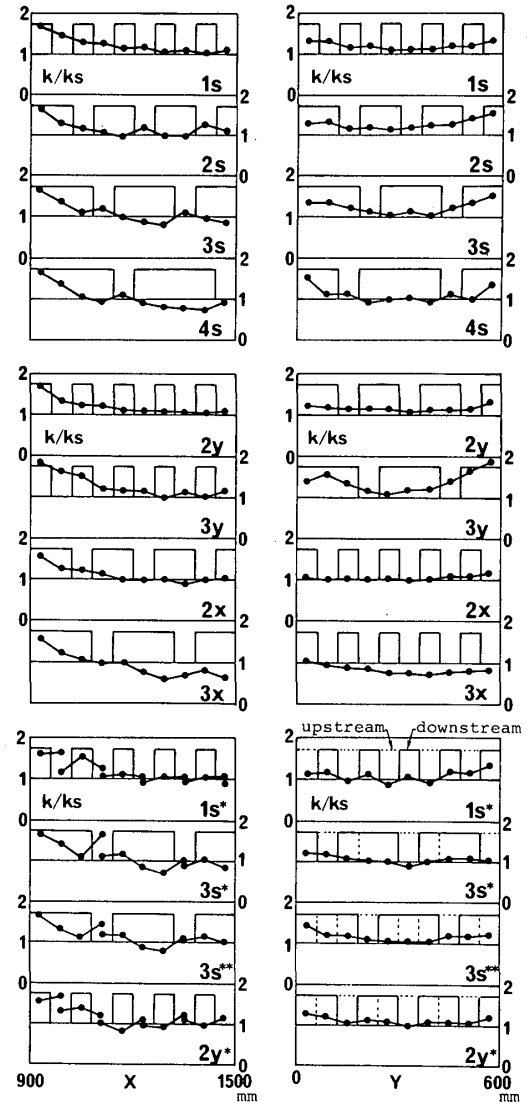


Fig. 11 Comparison of k/k_s distributions along the typical lateral and longitudinal streets at various model arrangements.

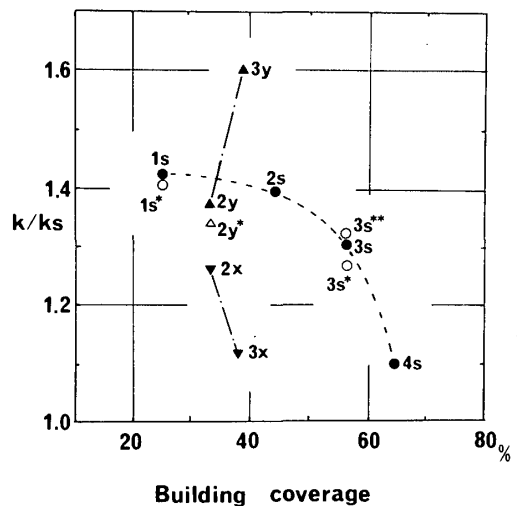


Fig. 12 Relation between building coverage and the k/k_s on the average of area.

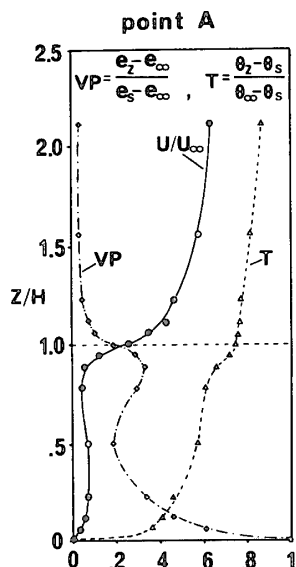


Fig. 13 Example of non-dimensional vertical profiles of mean velocity, temperature, and vapour pressure in lateral street at point A in Fig. 9.

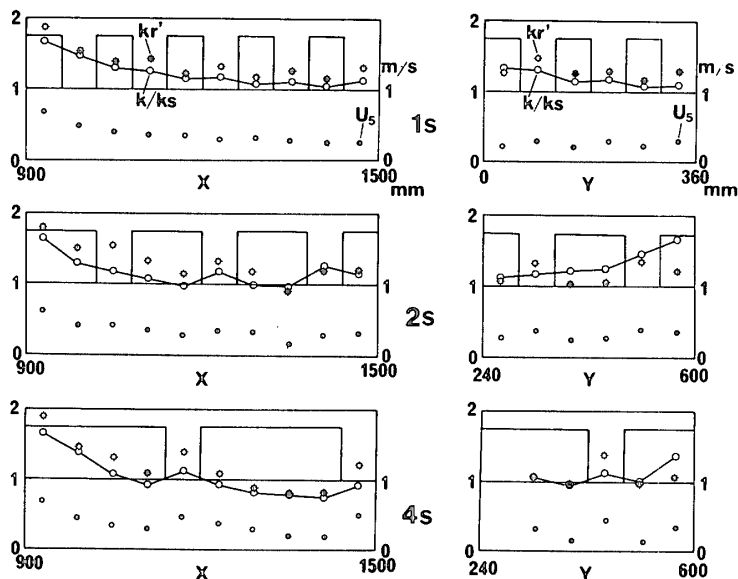


Fig. 14 Comparison between k and kr which is the mass transfer coefficient measured on the condition of dry surface except for the measuring vessel.

気流方向の減衰が緩和されるのに加え、模型風上側壁面での吹き降ろしと、Y方向街路内での循環流の発達が促進されるためと考えられる。この結果は、Fig. 8において (b) より (a) でY方向街路の k/ks が大きくなったことと対応する。Fig. 13は、Fig. 9に示した point A における各要素の鉛直プロファイルである。前報の2次元模型で考察したのと同様、湿度比 VP が模型高さ以下でS字型の分布を示しており、循環流の発達が推測される。

(3) 局所的な蒸発量の変化と気流性状の関係

前節に示した気流性状との対応関係をより詳細に検討するため、以下のような測定を行った。すなわち周囲をすべて乾燥面(アクリル板)とし、測定しようとする位置のみを水面(60mm×60mm)とした状態で、水面位置を順次移動させることにより物質移動係数(kr)の分布を測定した。このような測定では、どの測定位置についても水面の大きさが等しくなるため水面フェッチの

差異による影響を除くことができ、気流性状との対応はより明確に把握できる。ただし毎回条件を均一に保つことは難しく、多くの測定点を設けた場合には一つのケースについて多大な時間を要する。ここでは3種の配列(1s・2s・4s)を取りあげ、代表的なポイント15~18点を選び測定を行った。また測定点とは別に模型の影響を受けない基準点を毎回同じ位置に設け、条件の変動をチェックした。

Fig. 14に kr' (基準点との比で表した kr) と k/ks の結果を比較した。図中には U_s の変化を併示したが、特にY方向の街路で、 kr' の方が風速とよく対応していることがわかる。次に街路内の位置による変化を示す。Fig. 15は図中に示した各ポイントの kr を先と同じ U_s と対応させたものである。1sの場合位置による変化は不明確だが、気流方向の街路(丸印)に注目すると、模型間(○印)より交差点(●印)の方が、等しい風速に対して kr がやや大きい。2sでは、その傾

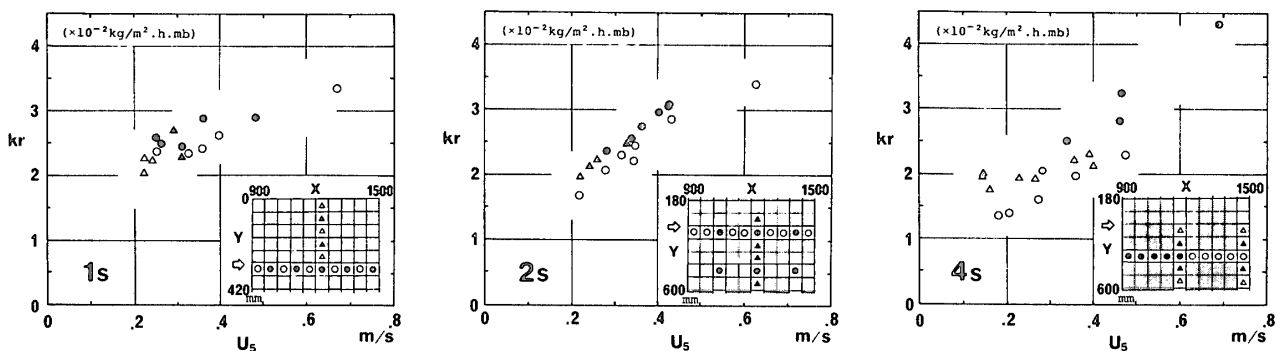


Fig. 15 Relations between kr and mean wind velocity near the surface ($z=5\text{ mm} : H/18$) at various points in the streets.

向がより明確となっている。また、ここではY方向の街路(▲印)は交差点(●印)とほぼ同様の傾向を示している。一方、4sでは先の2例とはかなり異なるパターンを示す。まず気流方向街路については、最初の交差点の前後で差異があり、等しい風速で比較すると風上側(●印)の方が風下側(○印)に比べ明らかに kr が大きい。またY方向街路については、風速が弱いにもかかわらず建物隅角部付近(▲印)で特に kr が大きくなる点が注目される。

以上のように、街路内の位置によりかなり系統的な増減が認められる。基本的には、街路を通過する距離が長くなるほど kr は低下し、一方交差点に近い部分では増大する傾向にある。模型間では当然乱れのスケールも限定され、そのことが等しい平均風速で比べた場合の kr の差異に表れていると考えられる。

(4) 区画単位の蒸発量と建物配列の関係

前節までの考察では、街路内の蒸発量分布を測定するため、街路幅(L)はすべて水槽幅(D)で一定とした。したがって、街路の縦横比(L/H)はすべて一定であった。そこで次にLを変化させたモデルについて検討するため、以下の実験を行った。測定部の状況をFig.16に示す。中心軸上 $X=600\text{ mm}$ を中心に600 mm四方を測定区画とし、今度はそこに一辺600 mm深さ50 mmの大水槽1個を置き、周囲はすべて乾燥面とした。ただし、先端部に小水槽8個からなる基準用の測定区を設定した。大水槽の中にはFig.17に示すごとく、建物模型を一部水没させる形で配列し、模型配置後に塩水を満たし、区画全体としての蒸発量を測定した。

先に示したFig.9の配列における測定は、街路内分布の把握を主目的としたため、配列の都合上、模型の設置範囲は必ずしも一致していない。しかしながら結果からもわかるように、建物群内部の k の値は模型設置範

囲にも影響される。したがってFig.12に示した測定範囲の平均値についての比較は、厳密な意味では配列パターンの比較とはなっていない。それに対し、模型設置範囲をすべてのパターンについて一致させようという点も、この測定の特徴の一つである。

Fig.18に模型配列パターンを示す。模型の底面は一辺が $D \cdot 2D \cdot 3D$ のいずれも正方形で、パターンは合計6種類。間隔(L)はいずれの街路も等間隔で、周辺部はFig.17に示すように水槽の縁から $L/2$ となるよう配置した。模型高さ(H)は $(3/2)D \cdot D \cdot (1/2)D$ の3種、合計18ケースで行った。なお6パターンのうち、1s-7~1s-4は同じ模型で建ぺい率を変化させたもの、1s-6・2s-3・3s-2は建ぺい率一定で模型サイズを変えたものである。

結果については、あらかじめ同じ条件で大水槽に対する模型なしでの物質移動係数(ks)を測定し、これまでと同様それとの比で表示した。Fig.19は建ぺい率と k/ks の関係を示したもので、実験した範囲では建ぺい率が増すほど k/ks はわずかに減少している。また建ぺい率が等しい場合でも、模型サイズにより大きく変化し、模型が大きくなるほど k/ks は大きくなる。

Fig.20はL/Hと k/ks の関係を示したもので、(a)は模型サイズの等しい場合、(b)は建ぺい率が等しい場合について比べたものである。(a)についてはL/H=1~2付近にピークが認められる。(b)については模型サイズおよび模型高さにより変化し、一致した傾向は

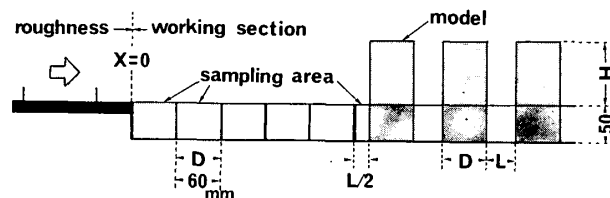


Fig. 17 Cross section of sampling area.

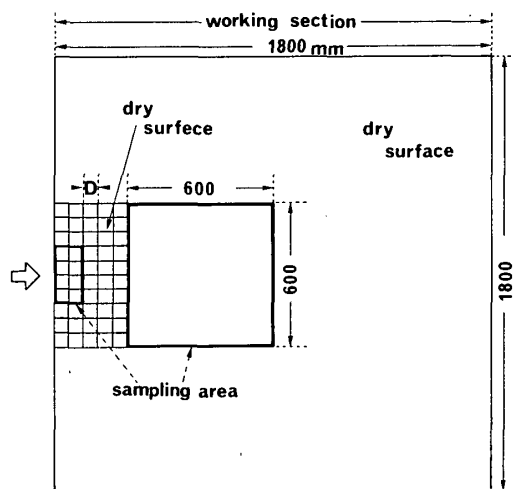


Fig. 16 Outline of working section for measuring evaporation from the lot with various model arrangements.

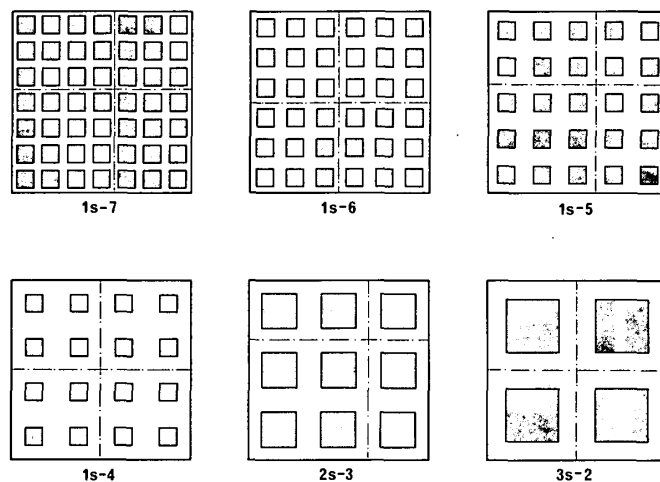


Fig. 18 Arrangements of model for measuring lot-averaged evaporation.

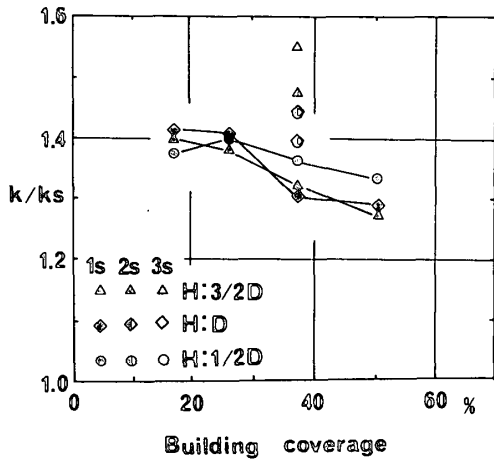


Fig. 19 Relation between k/k_s and building coverage.

みられない。以上のように、模型サイズが一定の場合についてのみ、おおむね L/H で説明される。

次に、以上の区画全体における配列による差異を、表面近傍の気流性状との関連で検討する。建物群内部の気流は局所的に大きく変化し、特に気流方向街路と横方向街路では大きな差異がある。したがって、気流性状に関して区域全体の平均値を求めることは難しいが、ここでは1つの試みとして、Fig. 18に鎖線で示した街路において25 mm 間隔で測定した計50点の平均を区画全体の値と仮定し k/k_s の平均値と対応させた。なお、風速測定高さは5 mm である。結果を Fig. 21に示す。かなり粗い関連づけにもかかわらず、平均風速および乱れのいずれについても、おおむね比例関係が成りたっている。以上のことから、今回の実験範囲については建物の密集に伴う表面近傍風速の低下が蒸発量を左右しており、したがって風速の1次式として拡散能を表す方法で地表面蒸発量の推定が可能であるといえる。

(5) 建物高さのバラツキによる影響

前節では、いずれも建物高さを等しくした模型群について検討したが、現実の都市を考えた場合、建物高さの変化による影響についても考察する必要がある。そこで次に前節と同じ区画単位の測定により、建物高さのバラツキによる影響を検討した。実験パターンを Fig. 22に示す。平面配列はすべて Fig. 18の1s-6に等しく、また平均高さ (\bar{H}) は D で一定である。36個すべてを高さ D とした case A に対し、case B から case E はそのうち4, 9, 12, 18個づつを $(3/2)D$ と $(1/2)D$ で入換えたものである。ただし case B と case C については、気流方向について配列が対称とならないため、2方向について測定した。

結果を Fig. 23に示す。これは横軸として無次元化した建物高さの標準偏差 (σ) をとり、各 case の k/k_s

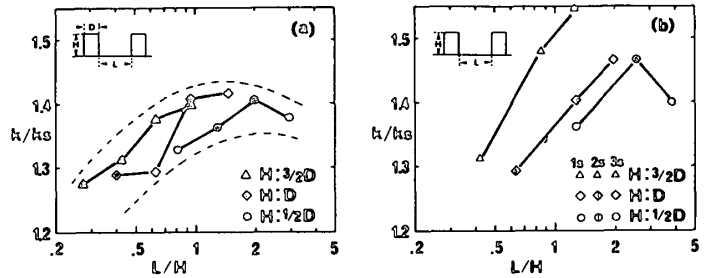


Fig. 20 Dependence of k/k_s on L/H —(a) with model height constant, (b) with building coverage constant.

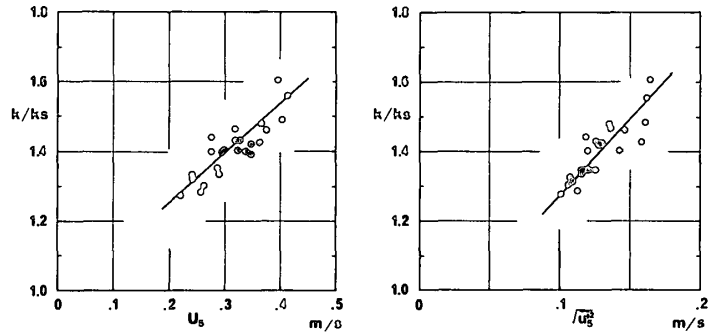


Fig. 21 Relations between k/k_s and mean wind velocity, and R.M.S. of turbulent velocity near the surface ($z = 5 \text{ mm}$).

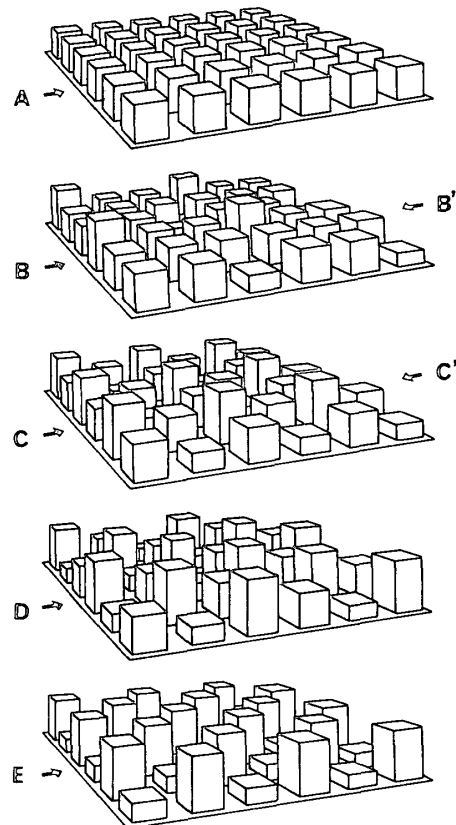


Fig. 22 Perspective of model arrangements with average height constant.

を比較したものである。区画全体としては、建ぺい率および容積率がすべて等しくなっているにもかかわらず、 k は建物高さのバラツキが大きくなるほど増大し、case

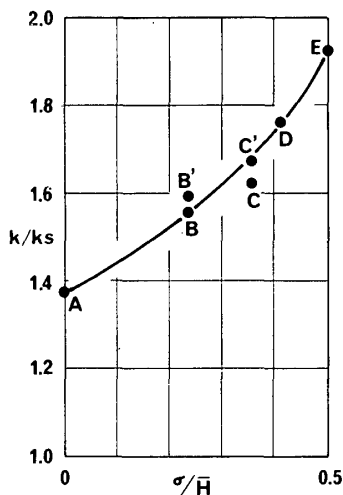


Fig. 23 Change of k/k_s due to increase of model height variation.

A に比べ最大で約 40% の変化を生じている。模型高さを一定として建ぺい率を変化させた Fig. 19 と比べると、 k/k_s の変化の度合ははるかに大きい。

前報で述べた 2 次元の場合においても、模型高さを不一致とした場合の変化は著しかった。また、いわゆる周辺気流において、風上側に低層棟を伴う場合に影響が大きくなることは、すでに Wise¹⁵⁾, Britter and Hunt¹⁶⁾ が示すところである。Fig. 22 の配列では街路の縦横比 (L/H) が変化しているとも考えられ、単純に高さのバラツキのみに起因するとは断言できない。しかしながら、いずれにしても建ぺい率等の平面的な尺度よりも、凹凸に関する鉛直方向の変化の方が、地表面蒸発量に対して影響が大きいと判断できる。

5. 結語

本報では、前報に引き続き、市街地における地表面蒸発量の評価を目的に、風洞模型実験により、各種建物群配列における蒸発量と気流性状との関連を検討した。主な結果を要約すると以下のとおりである。

(1) 単体模型周辺の物質移動係数 (k) の分布は、気流の動きと対応して複雑に変化し、模型との位置関係で大きく変化する。特に側方流による影響は大きく、前報で示した 2 次元的变化とは大きく異なる。

(2) 連続配列における気流方向の k の変化は、最初の 3 列目程度までが激しく、それ以後はほぼ一定とみなせる。

(3) いわゆる千鳥配列では、局所的に k の分布に変化を生じるものの、区画全体で比べた場合にはその影響は小さい。

(4) Y 方向の街路に関しては、循環流の発達の有無が k に大きく影響しており、したがって街路の縦横比および長さが問題となる。

(5) 街路内の k の分布は、配列パターンにより複雑な変化を示すが、表面近傍における平均風速との関係

を求めると、建物との位置関係でかなり系統的な差異が認められる。

(6) 区画全体として比較すると、 k は建物群内部における風速の低下と対応しており、両者は 1 次式でおおむね関係づけられる。

(7) k に及ぼす影響は、高さを一定として建ぺい率を変化させた場合よりも、同配列において建物高さのバラツキを変化させた場合の方が大きい。

最後に市街地の熱環境に関する既往の研究成果をふまえ、それらに対する本研究の意義についてまとめる。

本研究では、実験をすすめるに当たり、市街地レベルのマクロなスケール、および街路レベルのミクロなスケールという 2 つの視点を念頭においてきた。前者は都市熱収支モデルにおける市街地の平均的取り扱い、すなわち一連の建物群としてとらえた場合の振る舞いについての検討である。この点に関しては、これまで上空のプロファイルを出発点とする上からのアプローチが主で、地表面形態を出発点とした下からのアプローチは例が乏しかった。しかし両者をつなぎ合わせるという意味においても今回のような下からの検討は不可欠である。いくつかの市街地モデルに対して行った区画単位での検討は、この点をふまえてのものである。この種の考察は、モデリングを考える上で、パラメータ化を行うための基礎資料の提供という大きな意義がある。

一方、ミクロな局所的スケールに関しては、関与する要因が非常に複雑なため今のところモデルによるパラメータ化は困難で、風洞実験による把握が唯一の方法といえる。しかし、都市計画や地域計画などの具体的な問題に対しては、この程度のきめ細かなデータが必要となることも事実である。また、ある種のモデルを考察した場合、モデルの検証において、局所的にどの程度のバラツキがあるかの知見はどうしても必要である。模型周辺や街路位置による差異の検討は、この点を考慮したものである。さらに付け加えるならば、本研究の検証も含め、今後さまざまな野外観測を実施するに当たり、このような検討は観測ポイントの選定あるいは結果の解釈においてその一助となると考えられる。

今回の検討は実験ケースも限られ、市街地形態についても、実際の不規則性にそのまま対応するものではないが、市街地蒸発量に影響する基礎的な要因の一端を明らかにできたと考えている。前報にも述べたように、本研究はあくまでも水面を蒸発面とした結果であり、今後は表面の水分条件の変化等、具体的な蒸発面の現象についてさらに検討をすすめたい。

謝辞

本実験に際し、広島大学総合科学部自然環境・坪田博行教授、福岡義隆助教授より測器の一部を借用した。また故三寺光雄先生からは生前数多くの有益な御助言をい

ただいた。これらの方々に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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報告集，361，(1986)
- 2) Lettau, H. : Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness elements of description. *J. Appl. Meteor.*, 8, (1969)
- 3) Wooding, R. A., Bradley, E. F. and Marshall, J. K. : Drag due to regular arrays of roughness elements of varying geometry. *Boundary-Layer Met.*, 5, (1973)
- 4) 勝田高司・後藤 滋：建物周辺条件の換気通風に及ぼす影響，日本建築学会論文報告集，53，(1956)
- 5) 関根 毅・海野健一：市街地における周辺気流の立体構造に関する研究(その1. 規則的配列模型周辺気流の性状について)，日本建築学会論文報告集，245，(1976)
- 6) 勝田高司・村上周三・上原 清・小峰裕己：街区の中に建つ高層建物周辺の気流分布に関する風洞実験—建物周辺気流に関する実験的研究(9)，日本建築学会論文報告集，256，(1977)
- 7) 竹内清秀・近藤純正：大気科学講座1—地表に近い大気，東京大学出版会，pp.226，(1981)
- 8) Brutsaert, W. H. : *Evaporation into the atmosphere*. Reidel, pp.299，(1982)
- 9) Chamberlain, A. C. : Transport of gases to and from surface with bluff and wave-like roughness elements, *Quart. J.R. Met. Soc.*, 94, (1968)
- 10) 佐藤敬二・ほか7名：耕地防風林に関する研究，日本学術振興会，科学技術研究報告，No.8，pp.201，(1952)
- 11) 諸橋清一：模型防風林の風洞実験，I～III，北海道教育大学紀要(2A)，23(1972)，25(1974)，26(1975)
- 12) Fujita, T. and Honda, N. : Measurement of evaporation from salt water pan, *Pap. Met. Geophys.*, 31, (1980)
- 13) 鎌田元康：建物近傍における汚染物拡散に関する実験的研究(その1)，日本建築学会論文報告集，279，(1979)
- 14) Ogawa, Y., Oikawa, S. and Uehara, K. : Field and wind tunnel study of the flow and diffusion around a model cube-I, *Flow measurements. Atmos. Environ.*, 17, (1983)
- 15) Wise, A. F. E : Effects due to groups of buildings, *Phil. Trans. Roy. Soc., London A*, 269, (1971)
- 16) Britter, R.E. and Hunt, J.C.R. : Velocity measurements and order of magnitude estimates of the flow between two buildings in a simulated atmospheric boundary layer, *J. Ind. Aerodyn.*, 4, (1979)
- 17) 関根 毅・徳岡利一・成田健一：建物周辺気流の潜熱フラックスに及ぼす影響に関する研究(1)，日本建築学会大会学術講演梗概集(1984)
- 18) 成田健一・関根 毅・徳岡利一：都市地表面における潜熱フラックスに及ぼす建物周辺気流の影響，空気調和・衛生工学会(1984)
- 19) 関根 毅・徳岡利一・成田健一：建物周辺気流の潜熱フラックスに及ぼす影響に関する研究(3)，日本建築学会中国支部研究報告集(1985)
- 20) 成田健一：市街地の蒸発量に関する風洞実験(建物周辺気流との関連について)，日本地理学会春季大会予稿集(1985)

SYNOPSIS

UDC : 551.5 : 697.11

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECTS OF AIR FLOW AROUND BUILDINGS
ON EVAPORATION IN URBAN AREA (Part 2)by KEN-ICHI NARITA, Dr. TAKESHI SEKINE and TOSHIKAZU TOKUOKA,
Members of A. I. J

The distribution of mass transfer coefficient (k) around two dimensional models was discussed in the preceding paper. This time, the effects of air flow around cuboid model and regularly arranged city-block models on the ground evaporation are investigated in the same manner (using the salinity change technique). Many model experiments on air flow in built-up area have been made previously, but none of the reports clarified its effect on surface flux, especially latent heat flux at all.

The distribution of k around cuboid model shows complex pattern in accord with air flow, and cannot be explained well by only mean and turbulent velocities near the surface (Fig. 3 and 6). When cuboid models are arranged continuously in the direction of stream, the conspicuous variation of k is restricted within first three array and seems to be constant after that (Fig. 8).

Regarding city-block models, the local distribution of k on the street is more complex, but some systematic tendencies are revealed (Fig. 10). As a general, k is large in peripheral part of built-up area, especially windward, and decreases gradually to the center of it. However, in detail, k is larger at cross-street than other part of street (Fig. 10 and 11).

Averaging over the lot, k is proportional to mean and turbulent velocities near the surface in spite of the differences of model height, model size, and arrangement pattern (Fig. 21). In the case of equal height, the building coverage dose not affect on averaged k value seriously, within limits of this experiment (Fig. 19). On the contrary, the change of k is remarkable when city-block consists of the models unequal height (Fig. 23). Therefore, the vertical variation of surface component have a large effect on the turbulent diffusivity in urban area compared to its horizontal density.