屋外模型都市実験による顕熱輸送効率の検討

東京工業大学　学生会員　○金賀　将彦
東京工業大学　学生会員　河合　徹
東京工業大学　正会員　神田　学

１．目的

都市域における建物群のような、粗度群落中の乱流場における顕熱の輸送効率（対流熱伝達率、もしくはバルク係数）は、都市域を対象とした熱輸送モデルを考える際に必要不可欠なパラメータである。この輸送効率については近年、縮小模型を用いた風洞実験によってその挙動が徐々に明らかにされてきている（Narita[1]や Barlow[2]）。しかし輸送効率は気流場に大きく影響されるため、屋外自然風下での測定がより望ましい。そこで本研究では、屋外において模型都市実験を行い、顕熱輸送効率を算定、検討した。

２．実験方法

図 1 に示したような模型都市を作製した。粗度となる模型の大きさは一辺 150mmの立方体形状のコンクリートブロックで、これらをコンクリートプレート上に並べている。また、充分に内部境界層を発達させるため、主流風向（北西）側の模型の端から測定点までのフェッチを約 12m確保した。この模型上で、模型各要素面（屋根、床、壁面）について熱電対により表面温度、極薄熱流板により表面熱流を測定し、また床面から 400mm高さに超音波風速計を設置し上空風速を、700mm高さに放射収支計を設置し長短波を、それぞれ測定した。さらに、鉛直方向 1,15,45,75,105,135,150,225,300,400mmにそれぞれ極細熱電対を設置し気温を測定した。なお、模型表面に設置した熱電対と熱流板は、表面に接着した後薄くモルタルでコーティングしている。得られたデータはデータロガーにより一秒（風速は 8Hz）ごとにサンプリングし、10 分平均したものを解析に使用した。顕熱輸送効率は以下のバルク式より算出した（[3]）。

$$H = \rho c_p C_H U (T_s - T_{air}) \qquad (1)$$

ここで H :顕熱（W m^{-2}）、ρ c_p:空気の体積熱容量（J K^{-1} m^{-3}）、C_H:バルク係数、U:リファレンス風速（m s^{-1}）, T_s:表面温度（K）、T_{air}:リファレンス気温（K）である。C_H、もしくは顕熱交換速度 C_HU（m s^{-1}）が顕熱の輸送効率となっている。左辺の顕熱の評価については、模型各面における熱収支を考える。模型表面熱収支は、

$$H = Rn - lE - G \qquad (2)$$

Rn:正味放射量、lE:蒸発潜熱、G:表面熱流、である（全て W m^{-2}）。Rn を河合ら[4]による放射解析モデルより計算し、G に測定値を用いる。乾いたコンクリートの蒸発潜熱はごくわずかでありこれを無視すると、(2)式の残差として顕熱が求められる。この顕熱と、表面温度と気温の測定値から顕熱輸送効率が算定できる。

本研究ではこの輸送効率を、アスペクト比 1 の二次元配列とアスペクト比 1、建蔽率 0.25 の三次元配列の 2 種類の粗度形状で、それぞれ算出した。また解像度は各要素面ごと、壁面に関してはさらに細かく面を五層に等分割した各層ごと、である。

顕熱輸送効率が大気安定度によって変化することは広く知られている（[3]）。そこで本研究では最も基本的な、中立に近いときのそれに的を絞り、夜間、比較的風が強いときのデータのみを用いて解析を行った。このように条件を整えることで、中立下で行われている[1]、[2]の風洞実験との結果の比較も可能となる。

３．結果

面を風上、風下、屋根、床と分類し、面毎の輸送効率の大小関係を図 2 にまとめた。また、壁面での輸送効率の分布を図 3 に示す。風洞実験の結果もあわせて記したが、どちらも本研究の結果とよく一致している。粗

キーワード　屋外実験　顕熱輸送効率　模型都市
連絡先　〒152-8552　東京都目黒区大岡山 2-12-1　東京工業大学　神田研究室　ＴＥＬ03-5734-2768

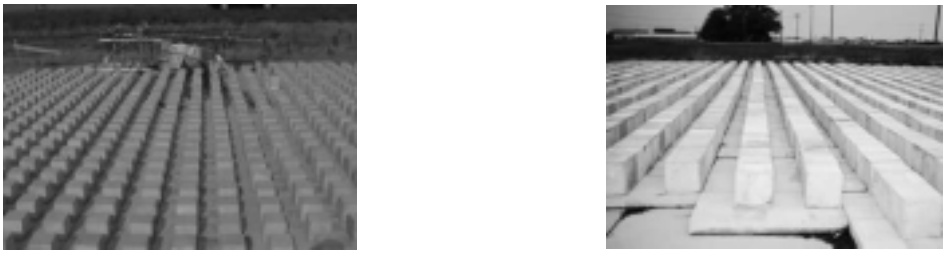


図１　屋外模型都市　左が三次元配列、右が二次元配列

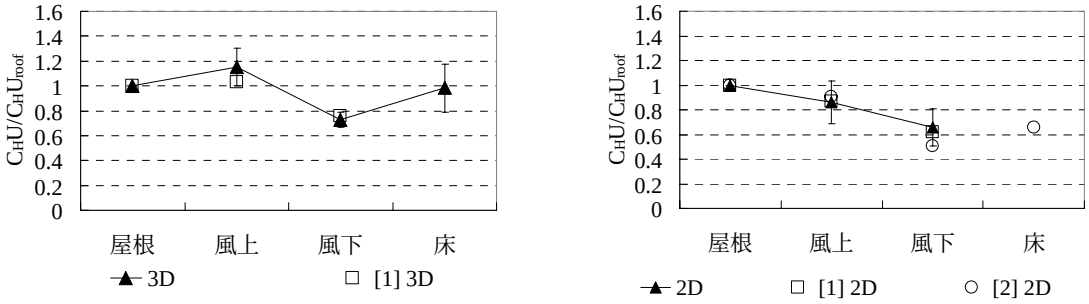
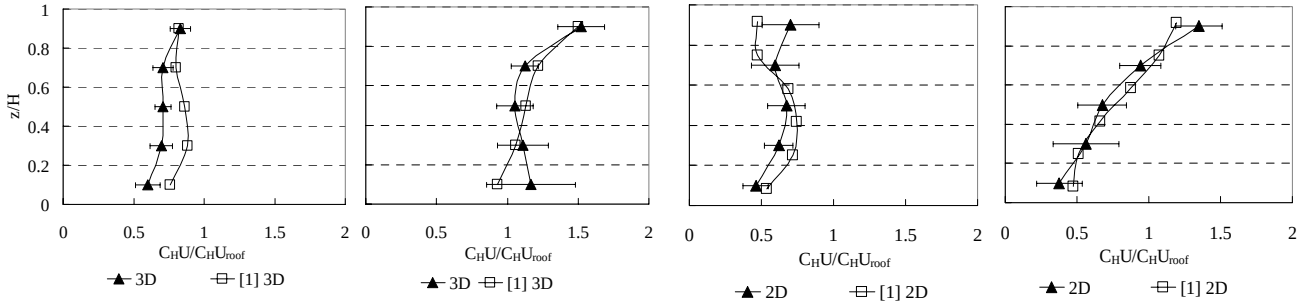


図２　輸送効率の大小関係



3D 風下　　3D 風上　　2D 風下　　2D 風上

図３　壁面輸送効率分布

度形状の違いは壁面の輸送効率分布に確かな違いを与えており、風上面、特にその下方で際立っている。これは、三次元配列のほうがキャニオン内での熱が抜けやすい、ということを示しており、側方からの風のまわりこみが起きているためであると考えられる。

４．結論

屋外模型都市実験から顕熱輸送効率を検討した。本実験から得られた結論は以下のとおりである。

・屋外環境下で算定した輸送効率と風洞でなされた既往研究での輸送効率の挙動はおおむね一致した。一様風下と自然風下という条件の違いによる差異は今回は現れなかった。

・三次元配列は二次元配列よりもキャニオン内の熱を逃がしやすい。

参考文献

[1] Narita,K., ‘Wind Tunnel Experiment On Convective Transfer Coefficient In Urban Street Canyon’ 5th international conference on Urban Climate, Poland

[2] Barlow,J.F., Harman,I.N., Belcher,S.E., ‘Scalar Fluxes From Urban Street Canyons. Part1: Laboratory simulation’ Boundary Layer Meteorology　(submitted)

[3] 近藤純正　「水環境の気象学」　朝倉書店

[4] 河合徹、神田学：都市を対象とした 3 次元高精度・低計算負荷放射解析モデルの提案,水工学論文集,47,p55-60,2003