屋外準実スケール模型都市における乱流特性の鉛直分布

- 東京工業大学 学生会員 稲垣 厚至
- 東京工業大学 正会員 神田 学
- 東京工業大学 正会員 森脇 亮

1.目的

近年における都市の発展に伴い,ヒートアイランドや都市大気汚染といった多様な都市大気環境問題が深刻 な様相を深めてきた.都市幾何形状が作り出す乱流構造は熱・水・物質輸送過程を直接的に決定するため,こ れの把握は諸問題の解決に必須であるが,その物理的な構造は解明されていない.主な原因として,1)都市で は主に社会的な制約から大規模な観測が困難であるため観測情報が非常に乏しいこと,2)都市特有の複雑かつ 多様な幾何形状のため,定性的な議論を行うことが困難であることなどが挙げられ,これらがボトルネックと なっている.そこで本研究では都市幾何形状を模した屋外スケールモデルによってこれら2つの問題を打破し, そこに発達する乱流構造の解明を試みた.本研究では乱流の鉛直プロファイルに基づく結果を紹介する.

2.実験概要

2004 年 12 月から翌年 2 月までの約 3 ヶ月間,埼玉県の日本工業大学の敷地に作成された屋外模型都市(図 1)において三次元超音波温度風速計(図 2)を用いた乱流観測を行った.模型都市の領域は 100×50 (m),その 上に都市構造物と見立てた一辺 1.5 m (= H)の立方体コンクリートブロックを建蔽率 0.25 となるように整列 配置した.サイトの中央に高さ 8 m 程度のタワーを建て,これを利用して 5 台の超音波風速計を建物配列のギ ャップ中央に,高度 4H, 3H, 2H, 1.5H, 1H に設置した(図 3).フェッチ距離は最長 50m となる.*U*,*V*,*W*, (*T*)の値を 50Hz でサンプリングし,風速データには傾度補正を施した.解析には主流方向(図 3)から水平 45° 以内に風向が収まる時のデータのみ使用した.

3.主流風速、風速分散、運動量の鉛直分布

平均風速,水平風速分散,運動量の鉛直分布を示す (図 4a~d).各統計量は大気安定度(z/L)によって, z/L>0.01 を安定、z/L<-0.005 を不安定として分類し, それぞれでアンサンブル平均した値である.なお平均 風速は摩擦速度(U^{*})で,風速分散は 4H での平均風速 (U_{4H}),運動量は平均風速の2乗で割り無次元化した.

大気が不安定なときほど平均風速 (U/U^*) は減少 し(図 4a),風速分散 $(\sigma U/U_{4H}, \sigma W/U_{4H})$ は増大(図 4b,c),運動量 $(\overline{u'w'})$ は減少する(図 4d).これらは大 気が不安定なほど浮力の作用による上下方向の乱流混 合が盛んになるためであると考えられる.

さらに運動量の鉛直分布を見ると,運動量は建物屋 根面レベル(1H)で極大値をとるが,これはこの面でシ アーが最も大きくなるためである.

4. 四象限解析

次に運動量についてより詳細な検討を行うため,U とWに関して四象限解析を行った.結果を図5に示す.

ТА-90АН

図1 屋外模型都市

図2 超音波風速計



表1 観測機器及び測定項目

測器本体	Kaijo DA600
サンプリング周波数	50 Hz
測定項目	風速3成分(U, V, W), 温度(T)
プローブ	Kaijo TA-90AH
スパン長	5 cm
設置高度	4H, 3H, 2H, 1.5H, 1H

キーワード 屋外模型都市,乱流構造,超音波風速計,鉛直分布,四象限解析

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学国際開発工学専攻神田研究室 TEL 03-5734-2768

2-010

安定時(図5a)では全高度において sweep モード(S4)が ejection モード(S2)を上回るが,不安定時(図 5b)では 3H 以下では sweep,3H 以上で ejection モードが卓越し ている.この傾向は実都市での観測や数値解析(Kanda) などによっても確認されており,都市幾何形状による 特有の現象であると考えられる.

5.周波数解析

各高度における水平風速の周波数解析を行った(図 6).図中の矢印は各スペクトル強度のピーク周波数の 位置を指している.最も高度の低い1Hでのピークは 他に比べて明らかに高周波側に位置しており,その周 波数は約1Hzである.これを凍結仮説によって平均風 速を用いて空間スケールに変換すると約3mとなる.こ れは建物配列のスケールと一致し,直接その影響を受 けているためと考えられる.他の高度も卓越周波数を 空間スケールに置き換えると約30~60mとなり,乱流 の組織構造に起因すると考えられる.

6.鉛直分布の時系列変化

建物幾何形状が作り出す乱流構造の視覚的な情報を 得るため,各種乱流統計量の1分平均値からの変動成 分(*u*',*w*',*T*')の鉛直分布を時系列変化で示す(図 7). 平均化時間の間になるべく風向が一定であるような時 間帯を選び,横軸は凍結仮説により,高度2Hにおけ る平均風速を用いて時間軸を空間軸に変換した.図は 6秒間(32m)のデータを示している.

図7は不安定時のデータ(12月17日13時0分)であ り, 点線で囲った部分において上昇流に伴う水平風速 の減少と温度の上昇が確認でき ejection モードが生じ ていることが確認できる.この構造のスケールは約 15m であり,先の周波数解析で示した1.5~4H までで 卓越していた渦スケールとの関連が示唆される.

参考文献

• M. Kanda, Boundary Layer Meteorology 2005 (in press)



