

II - 198

成層流風洞による大気対流境界層のシミュレーション

神戸大学工学部 正会員 道奥 康治
 Univ.Karlsruhe
 Univ.Karlsruhe
 Univ.Karlsruhe
 Erich PLATE
 Rolf KAISER
 Matthias RAU

1. はじめに：晴天時の大気が発達する対流境界層 (Convective Boundary Layer, CBL)は、図-1 のように、(1) Thermal Plumeが発生する表層(SL), (2) 乱流が卓越する混合層(ML), (3)安定な温度勾配によって乱流運動が抑制され、連行が生ずる連行領域(EZ), からなる。Karlsruhe 大学水文水資源研究室(IHW)では、CBLを再現するために、新型成層流風洞を開発した¹⁾。本報では、長時間平均流れの構造の検討に引き続き²⁾、短時間平均の乱流過程をVITA法により抽出し、風洞の基本性能を検証する。

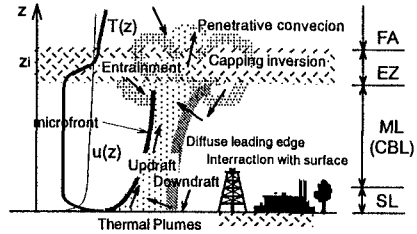


図-1 対流境界層(CBL)の模式図

2. 成層流風洞の仕様¹⁾：IHW の成層流風洞は、図-2 のように閉鎖循環型構造を有し、短い助走距離と少ない電力で、最大200℃の温度差をとまう高温成層を再現できる。鉛直10層に分かれた風洞上段の循環部で、所定の温度・風速分布が整形され、下段の計測区間（長さ10m×幅1.5m×高さ1.5m）で、LDVと抵抗線式温度計を用いて、風速と温度が計測される。風上端から $x=3.98, 5.63, 7.28\text{m}$ の各計測断面 (Windows-3, 4, 5)における逆転層高さは各々 $z_i=0.3, 0.325, 0.375\text{m}$ であった。

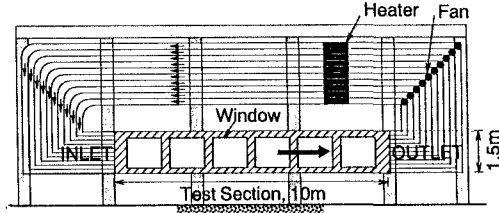


図-2 成層流風洞の設計概念図

3. VITA法(Variable Interval Time Averaging)：Thermal Plumeの秩序構造を抽出するために、温度変動 T' を検出信号としてVITA法を用いる。 T' が二つの条件、

$$V_T(t) > k, \quad (1), \quad dT'/dt < 0 \quad (2),$$

を満足する時、事象が抽出される。式(1)は、ある程度大きな変動の抽出、式(2)は温度低下時の事象の抽出に相当し、二つの検出条件によって、Plumeの風上側界面 (Microfront) を捉えることをねらっている。ここで、 $V_T(t)$ は、時間スケール t_s のもとで移動平均された短時間平均事象の温度分散値 $\text{var}(T')$ と長時間平均分散 σ_T^2 の比 $V_T(t)=\text{var}(T')/\sigma_T^2$ である。種々の検討に基づき、本研究では、閾値 $k=0.4$ 、短時間平均時間スケール $t_s=0.1\text{sec}$ 、を採用する。

4. 条件付き平均化された時系列：図-3は $z=0.025\text{m}$ の表層、ならびに $z=0.35\text{m}$ の連行層における、温度 T' と風速二成分 (u' , w') の条件付き平均時系列である。表層においては、PlumeのMicrofront通過時に相当する $t'=0$ を境に、前半 ($t'<0$) で正の大きな

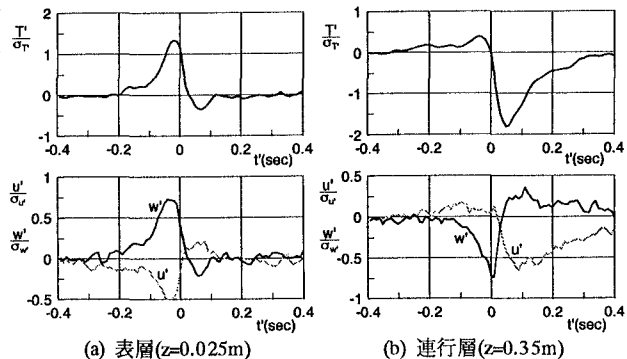
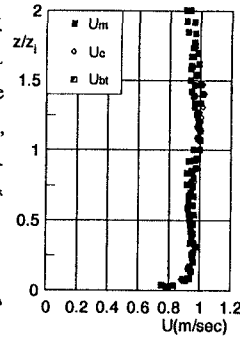
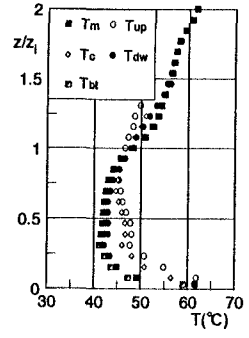


図-3 条件付き平均化された温度・風速時系列

キーワード：大気成層，対流境界層，成層せん断乱流，密度流，風洞実験

連絡先：〒657 神戸市灘区六甲台町1-1，神戸大学工学部建設学科，TEL(078)803-1044，FAX(078)803-1050

温度ピークと低速($u'<0$)上昇流($w'>0$)が、後半($z'>0$)で負の小さな温度ピークと高速($u'>0$)下降流($w'<0$)が見られる。温度変化より、計測プローブは、 $z'<0$ において Plume の内に、 $z'>0$ において外に、各々位置している。よって、Plume 内では強い高温上昇流(warm updraft)が、Plume 外では弱い低温下降流(cold downdraft)が卓越すると推定できる。図-3(b)の連行層においては、なだらかに変化する高温下降流(warm downdraft)の後、鋭い低温ピークを伴う上昇流(cold updraft)が続いている。前者は自由大気層から混合層への連行加入に、後者は混合層から連行領域へ貫入する Penetrative Convection に、各々対応する。

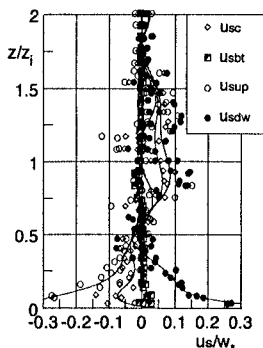
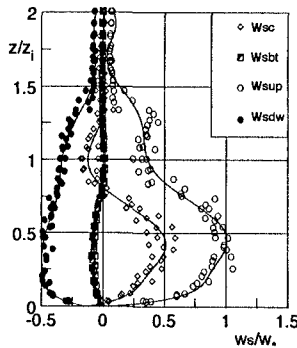
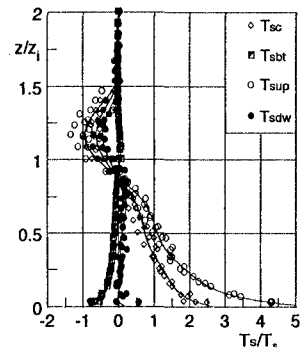
図-4 平均風速 U の分布図-5 平均温度 T の分布

5. 条件付き平均された諸量の鉛直分布：図-4 は平均風速 U について、長時間平均値 U_m 、秩序構造の平均値 U_c 、抽出から漏れた背景乱流の平均値 U_{bt} 、の鉛直分布をあらわす。壁面せん断層を除き、いずれの事象平均値もほぼ同様の様な分布である。図-5 は平均温度分布である。ここでは、秩序構造の事象をさらに、上昇流成分($w'>0$) T_{up} と下降流成分($w'<0$) T_{dw} に分類している。秩序構造全体の平均温度 T_c およびその上昇流成分 T_{up} は、表層から混合層内において長時間平均温度 T_m より高温であり、連行領域においては低温である。これに対し、背景乱流成分と秩序構造の下降流成分、 T_{bt} 、 T_{dw} は T_m と同程度である。図-6,7 は平均風速 U_m からの偏差 (u_s, w_s) を示す。抽出事象の水平風速 u_s は表層で低速、連行領域で高速であるのに対し、背景乱流の風速 u_{bt} はほぼ 0 である。また、表層においても連行領域においても、上昇時には水平風速が低速($u_{sup}<0$)で、下降時には高速($u_{sdw}>0$)であり、正の Reynolds 応力 $-\overline{u'w'}$ を生む原因となっている。抽出事象の鉛直風速 w_s は $0<z/z_1<0.8$ において正で、 $0.8<z/z_1<1.2$ の連行領域では負である。すなわち、Thermal Plume の運動は混合層内で上昇流、連行領域で下降流が主体になっている。図-8 は温度偏差 T_s をあらわす。底面近くにおいて、抽出事象の温度偏差 T_{sc} は大きな正の値をとり、背景乱流は小さな負の温度偏差($T_{bt}<0$)を呈する。連行領域では、抽出事象が負の温度偏差である($T_{sc}<0$)のに対し、背景乱流の温度偏差 T_{bt} はほぼ 0 である。図-7,8 より、①混合層内では、Plume が強い高温上昇流を形成し、Plume 外部では弱い低温下降流が支配的である、②連行領域では、顕著な熱輸送は主に Thermal Plume の低温上昇流— Penetrative Convection—により生ずる、ことなどがわかる。

6. まとめ：VITA 法で抽出された秩序構造は、これまで現地観測などによって断片的観測されてきた CBL の特徴と類似し、成層流風洞によって大気と相似な対流が再現されているようである。

参考文献

- 1) Rau, M. and Plate, E.: *Wind Climate in Cities*, Kluwer, pp.431-456, 1995.
- 2) Fedorovich, E., Kaiser, R., Rau, M. and Plate, E.: *J. Atmos. Sci.*, Vol.53, pp.1273-1289, 1996.

図-6 水平風速偏差 u_s/w_s の分布図-7 鉛直風速偏差 w_s/w_s の分布図-8 温度偏差 T_s/T_s の分布