

「建物後流のピーク濃度の性状と予測」

正会員 ○老川 進
孟 岩

ピーク濃度、拡散風洞実験、建物

1. はじめに 建物近傍におけるガスの濃度予測において、対象物質が臭気や可燃性ガスの場合、不快あるいは危険のある閾値を越えるかどうか重要となる。通常、時間平均濃度は、これらの閾値よりも低い値であることが多く短い時間におけるピーク濃度を評価する必要がある。本研究は、建物後流における短時間ピーク濃度の性状を明らかにすること、および実大気におけるデータと対比しピーク濃度の予測式を提案することを目的とし、高応答の濃度分析計を用いた拡散風洞実験を行った。

2. 実験方法 測定部が0.9H × 1.1W × 5.4L (単位m)の大きさの風洞に建物モデルとして一辺がH=8cmの立方体を設置した。都市郊外の縮尺 1/500 に相当する大気境界層を作成し、風速 U_H を2 m/s(at z=H)に設定した。屋根面中央にはトレーサガス排出口(内径: 1/10H)を設け、エタン(C_2H_6)ガスに窒素ガスを混合し排出した(排出速度比 V_s/U_H : 0.46)。エタン濃度の分析は、高速炭化水素計(Cambustion社,HFR-400,応答時間: 3 ms¹⁾)を用い、その出力を2 msecの間隔でA-D変換を行い3万個(60秒間)のデータを採取した(ローパスカットオフ周波数:224Hz)。測定したガス濃度 C_c は、風速 U_H とエタンガスの排出量 Q_s により無次元化した濃度 $C=(C_c U_H H^2/Q_s)$ で整理した。実大気(P)の時間変動現象を風洞(m)にて再現するには、無次元化時間を等しくすることが必要である $(UT/L)_p=(UT/L)_m$ 。ここでU, T, Lは各々風速、時間、長さの代表スケールを表す。本研究の時間縮尺率は、 $T_m/T_p=1/500$ ($U_p/U_m=1, L_m/L_p=1/500$)となる。また、濃度のスペクトル解析を除くすべてのデータ解析において、実大気の現象を再現していない²⁾高周波数域75Hz以上を移動平均により除き、その逆数13.3 ms (実

大気で6.8秒)を平均化時間 T_a とした。また、観測時間 $T\tau$ は10分(風洞で $T\tau=1.2s$)とし、これを1単位として50単位(8.3 hourに相当)の期待値を求めた。

3. 測定結果 図1には、無次元化した平均濃度 C_{ave} の分布を示す。図2には、風下 $x/H=1$ における3高度で計測した濃度変動の時系列プロットを示す。地表近く $z/H=1/8$ の濃度変動は(図2a)、比較的ゆっくりした大きな変化で推移しているが、上層では(図2b,2c)、高濃度の出現が間欠的である。図3には、風下距離 $x/H=1.3$ における濃度スペクトル分布を示す。各測定点とも慣性小領域において-2/3乗法則で示される勾配が認められる。 $x/H=1$ において(図3a)、地表近く $z/H=1/8$ のピークは低周

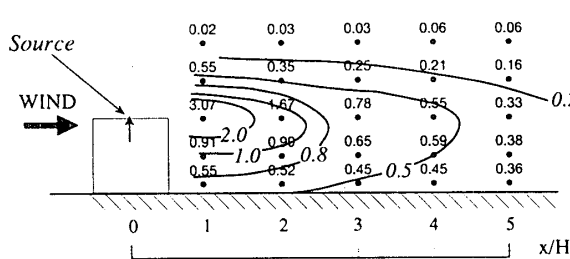


図1 平均濃度 C_{ave} の分布($y/H=0$)

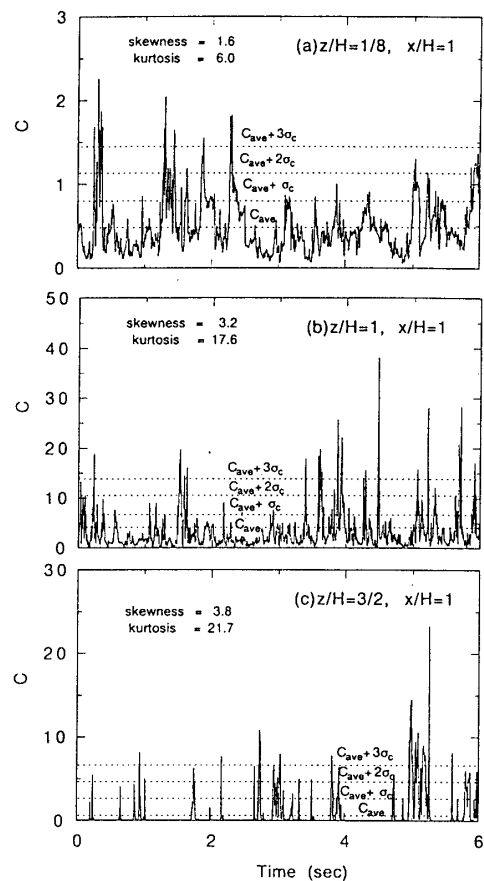


図2 濃度変動の時系列プロット($x/H=1$)

A wind-tunnel study of instantaneous peak concentration in the near-wake region

SUSUMU Oikawa and Yan MENG

波数側 2 Hz付近にあるが、建物高さ $z/H=1$ および $3/2$ では、高周波数側に移動し30Hz付近に幅広いピークを生じている。この傾向は風下においても同様である(図3b)。このことから、 $z/H=1/8$ と1との間の $z/H=1/2$ 程度の高さを境として現象の異なる領域が存在し、図4に示す様な2つの拡散領域が形成されていると考えられる。本研究では下層を「混合領域(Mixing regime)」、上層を「間欠領域(Intermittency regime)」と呼ぶ。「間欠領域」では、屋根面の小さな渦スケールの影響を受け、短い周期の濃度変動となり高周波数側にピークが現れる。一方、「混合領域」では建物後流のカルマン渦による建物スケールの渦の影響を受け、相対的に長い周期の濃度変動となり低周波数側にピークが現れる。

4. ピーク濃度の予測 以上は実大気の平均化時間 $T_a=6.8$ 秒に相当するデータを扱ってきた。次に平均化時間の変化とピークファクターの対応を示し、ピーク濃度予測式を提案する。ピークファクター $P_{f,T}=(C_{max}-C_{ave})/\sigma_{c,T}$ と平均化時間 T_a の関係を図5に示した。ここで、 C_{max} は、ピーク濃度を表す。ピークファクターの添字 T は、 $T_a=6.8$ 秒の時の濃度変動の標準偏差 $\sigma_{c,T}$ を用いたことを表し、実大気の10Hzでサンプリングした標準偏差 σ_c と区別する。×印は「間欠領域」、○印は「混合領域」のデータを表す。両領域における値のばらつきが小さく、その上限値はべき関数で表わすことができる(図中の点線)。図中には野外³⁾にて計測したピークファクターを合わせて示した($H=5.4$ mの立方体建物の屋根面データ: □印と◇印)。野外観測値は概ね実験式線上にある。実大気では、高周波数の濃度変動が存在する。野外にて

10Hzのサンプリングで得られた濃度変動の標準偏差 σ_c を用いて定義したピークファクター値 P_f を合わせて示す(■印と◆印)。これにより、本風洞実験により得られたピークファクター値 $P_{f,T}$ を実大気のピークファクター値 P_f に換算すると、 $P_f=9.1 \times T_a^{-0.46}$ で表せる。

5. まとめ 風洞にて立方体建物の屋根面中央よりトレーサガスを排出し、建物後流のピーク濃度を高応答の濃度分析計を用いて計測した。その結果は次の様である。(i)濃度のスペクトルピークは測定高さにより異なった周波数域に生じている。このことより建物後流に2つの拡散領域(「混合領域」と「間欠領域」)が形成されていると考えられる。(ii)建物近傍のピークファクター P_f の上限値と平均化時間 T_a との関係は、 $P_f=9.1 \times T_a^{-0.46}$ で表せる。

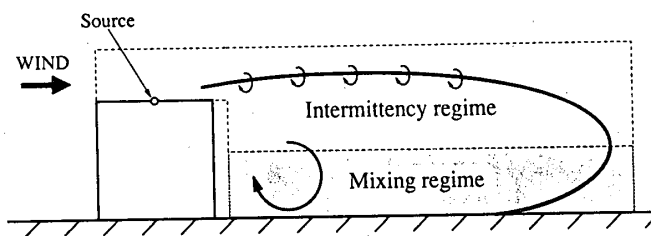


図4 2つの拡散領域の概念図

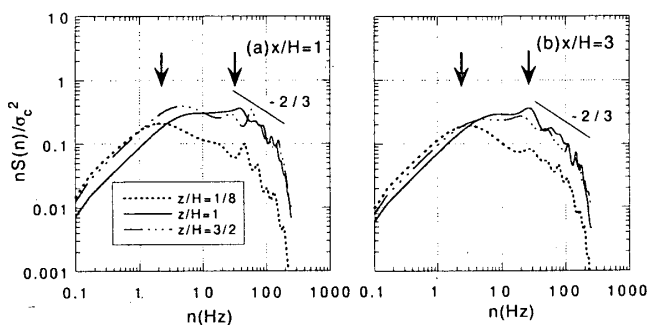


図3 濃度スペクトル分布

文献

- 1) 老川進、孟岩:大気環境学会誌,Vol.33,NO.3(1998)
- 2) 孟岩,日比一喜:日本風工学会誌,No.72, 21-34 (1997)
- 3) Oikawa,S. and Meng, Y.:Boundary-Layer Met. 84,399-410(1997)

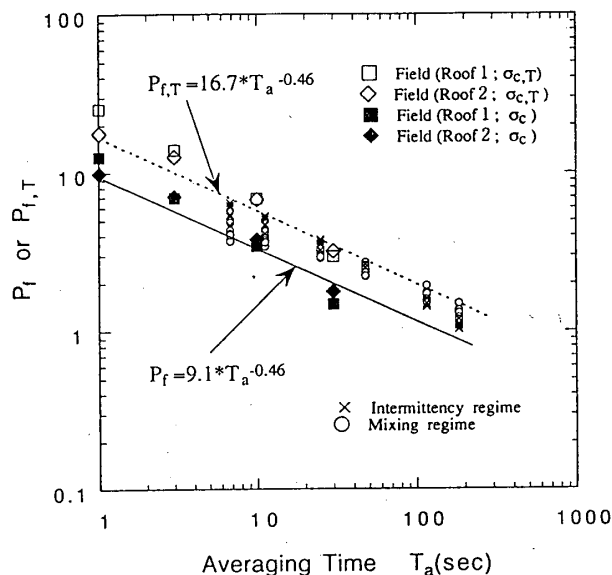


図5 ピークファクターと平均化時間 T_a