

建物近傍拡散の予測に関する基礎的研究

その1 風洞実験

老川 進*・石原 孟*・安田 龍介**
西村 浩一***・長谷 実****

An Experimental and Numerical Study of Concentration Prediction Around a Building

Part I Wind-tunnel Study

Susumu OIKAWA*, Takeshi ISHIHARA*, Ryusuke YASUDA**,
Koichi NISHIMURA*** and Minoru HASE****

建物近傍の大気汚染物質の拡散予測に関する研究を行った。本論文その1では、一辺が12 cmの立方体を風洞に設置し建物近傍の流れ場と拡散場の計測を行った。流れ場の計測は、乱れのレベルが高くかつ逆流を伴う流れ場の計測が可能なスプリットファイバースプロブを用いた。拡散場の測定は、屋根面の2つの異なった位置に設置した排出口からトレーサガスを排出し近傍の濃度を測定した。

流れ場の性状において、建物背後に大きな逆流域が形成され建物の中心から建物高さの1.6倍の距離に再付着点が生じており、この領域に横方向から建物に回り込む流れおよび鉛直方向での下降流が形成されていることが明らかとなった。建物屋根面の流れの剥離に伴う大きな乱れが、建物の直後の屋根面と側面の位置するところに生成されている。速度成分 u 成分では、下流においてもこの乱れの大きな領域は保たれる。一方、速度成分 v および w の乱れの大きな値の領域は、下流ほど建物高さ以下の範囲に拡がり、ピーク値の位置も低くなる。

拡散性状では、屋根面の風下コーナーに位置する排出口の場合、建物直後の断面で顕著なピークが建物高さに形成される。そのピーク位置は、排出口位置を反映し流れの中心から偏った位置に生じているが、風下ほどこの偏りは小さくなる。屋根面の中央に位置する排出口の場合は、建物背後の近傍で風下コーナーに位置する排出口よりも小さな濃度値を示す。これは屋根面の初期拡散の状況の差による。

1. はじめに

都市構造の集積化に伴い、都市における建物の空調需要および種々のエネルギー需要が増大している。このため地域的なエネルギー供給の形態の合理化、効率化を進める必要があり、コージェネレーションシステ

ム（熱電供給システム）や未利用エネルギーを活用した地域冷暖房の導入が促進されている。地域冷暖房の熱源としては、主に都市ガスが用いられている。都市ガスは比較的クリーンな燃料であるが、燃焼過程で窒素酸化物が生成されることから、地域冷暖房の導入にあたっては排気ガスが周辺に影響を与えないような配

* 清水建設㈱技術研究所 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17

** 大阪府立大学工学部 〒599-8531 大阪府堺市学園町1-1

*** 大阪ガス㈱研究開発基盤研究所 〒600-8815 京都市下京区中堂寺粟田町1サイエンスセンタービル3号館

**** 大阪ガス株式会社環境部 〒541-0046 大阪市中央区平野町4-1-2

慮が必要となる。地域冷暖房が計画される都市域は一般に建物が複雑に林立し気流の流れも複雑である。こうした建物が混在している場における濃度予測手法には3つの方法がある。

1つは、簡易モデルを用いた予測方法であり、単体建物を対象として多数の予測モデルが提案されている (Gifford^{1,2)}, Huber and Snyder^{3,4)}, Huber⁵⁾)。これらの多くは、拡散方程式の解として得られた正規型解析モデル (Gaussian Plume Model) を用いて濃度予測が行われている。いずれも建物の影響を考慮するために、建物の規模に比例する初期拡散幅の拡散パラメータ (建物の正投影面積, 建物の幅, 高さなど) を何らかの形で導入している。しかし、現段階では、建物近傍 (建物高さの数倍以内の領域) の大気汚染物質の挙動をこれらの簡易モデルで十分に説明できない (Fackert⁶⁾)。

2つ目は、建物の縮尺モデルを用いて行う風洞実験による方法である。建物表面や地表面で高濃度を生じるダウンドラフトと呼ばれている現象の解明を中心に、Halitsky⁷⁾, Wilson⁸⁾, Meroney and Yang⁹⁾ など多くの風洞実験の研究が行われてきた。剝離や渦の生成などを伴う建物近傍の複雑な流れ場では、この方法による予測が最も一般的に行われており、現段階では最も精度の良い予測方法である。

3つ目は、数値解析による方法である。この方法は、近年、コンピューターの性能向上に伴い計算流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics) として急速に研究が進んできた。一般によく使われている乱流の数学モデルに、 κ - ϵ 2 方程式乱流モデルがある。これは、流れ場の平均や標準偏差などの統計量を予測するモデルであり瞬間値を直接計算できない。これに対し LES (Large Eddy Simulation) は、瞬間値を直接シミュレーションすることが可能である。これら数値解析の手法がどこまで風洞実験の結果を再現するかを調べた例は少ない。

建物近傍の拡散場は、周囲の複雑な3次元的な流れ場の影響を大きく受ける。そのため、これらの数値解析の方法による濃度場の予測精度の検証には、まず流れ場が精度よく予測できることが必要である。建物近傍の流れ場と拡散場の両方を計測した風洞実験は、Robins and Castro^{10,11)} や Ogawa ら^{12,13)} のいくつかの研究に限られる。Castro and Robins は、立方体の建物モデルを対象に拡散場の測定とともに、パルストワイヤプローブを用いて建物の屋上およびやや離れた後流の流れ場を初めて定量的に測定した。その後、Ogawa らは、同様に立方体モデル建物を対象として

拡散実験およびレーザ流速計を用いて建物屋上および後流における平均速度ベクトルを詳細に測定した。しかし、これらの研究は、流れ場と拡散場の計測を行っているものの、数値解析の検証データに必要な速度3成分の平均値と標準偏差および風洞の流入条件を十分に論じていない。

本研究の目的は、第3の数値解析の方法による建物近傍のシミュレーションの精度を検証することにある。本論文その1では、建物近傍の流れ場と拡散場の現象を明らかにすると共に数値解析の精度を検証するデータを提供することを目的とした風洞実験を行った。建物モデルとして一辺が12 cmの立方体を風洞に設置し建物近傍の流れ場と拡散場の計測を行った。同題その2では、 κ - ϵ 2 方程式乱流モデルによるシミュレーションによる検証結果について、同題その3では LES によるシミュレーション検証結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 風洞と模型

実験は清水建設(株)技術研究所の回流式風洞を用いて行った。風洞の測定部の長さは15 mで測定断面の高さと幅はそれぞれ2.4 mと2.6 mである。用いた模型は一辺が $H=12$ cmの立方体である。Fig. 1には座標系と記号の定義を示す。 x , y , z 軸をそれぞれ流れ方向, 流れに直角方向, 鉛直方向と定義し、それらの測定成分を u , v , w とする。また、距離の表示は建物中心を原点として建物高さ H で無次元化した値で示す。風洞気流は都市域の大気界層を模擬して作成した。境界層の縮尺は1/400相当、平均風速分布のべき指数は0.25である。風洞風速を建物高さ12 cmで $U=3$ m/sに設定し、建物の前縁に対して直角に流入する風

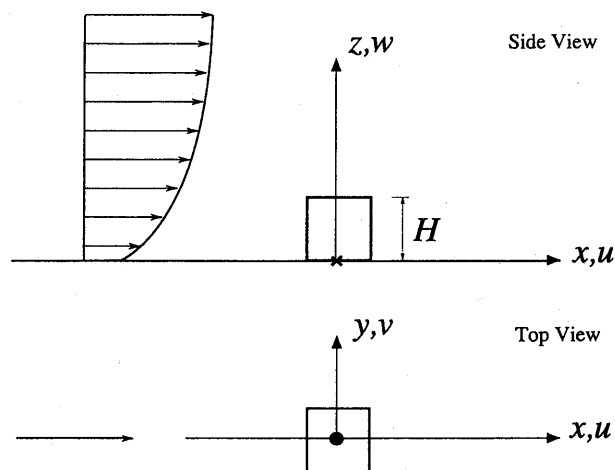


Fig. 1. Explanation of coordinates and notations.

向0度にて計測を行った。

2.2 流れの計測方法

一般に建築近傍の流れ場は3次元性が強く乱れも大きい。また、建物の屋根面、壁面および後流域では、流れの方向が一定せず間欠的に逆流が生じている。このような流れ場を測定する場合、現在風洞でよく使われている流速測定装置のX型熱線プローブでは逆流の測定ができず、また、乱れ強度が30%を超えると大きな測定誤差が生じる¹⁴⁾。そこで、本研究では、逆流を検出できるスプリットファイバークロブを用いた。流れ方向の速度成分は直線型のプローブ (DANTEC, 55R55) 流れに直角となる成分は90度型のプローブ (DANTEC, 55R57) により測定した。スプリットファイバークロブの二本のセンサーは、それぞれ温度補償付きの定温度型熱線風速計 (DANTEC: Type 55M01, 55M14) に接続されており、風速計からの出力を0.5 msの間隔でA-D変換した。ローパスフィルタのカットオフ周波数は890 Hzである。各速度成分の平均値とその標準偏差の平均化時間を90秒とし

た。スプリットファイバークロブの較正方法は、佐々木、木谷¹⁵⁾ および Boerner and Leutheusser¹⁶⁾ により提案され、その有効性は Kiya and Sasaki¹⁷⁾ の風洞実験により実証されている。本研究はそれらの方法を改良した較正方法で行った¹⁸⁾。

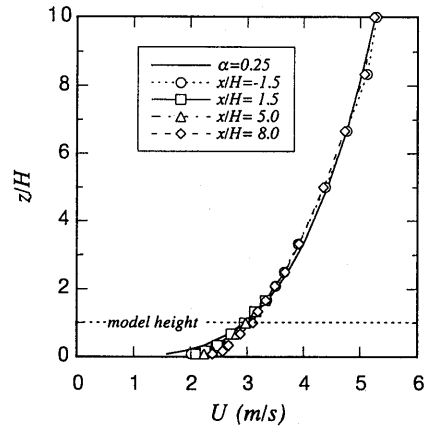


Fig. 2. Profile of the mean velocity at four different distances from the model center (without the building).

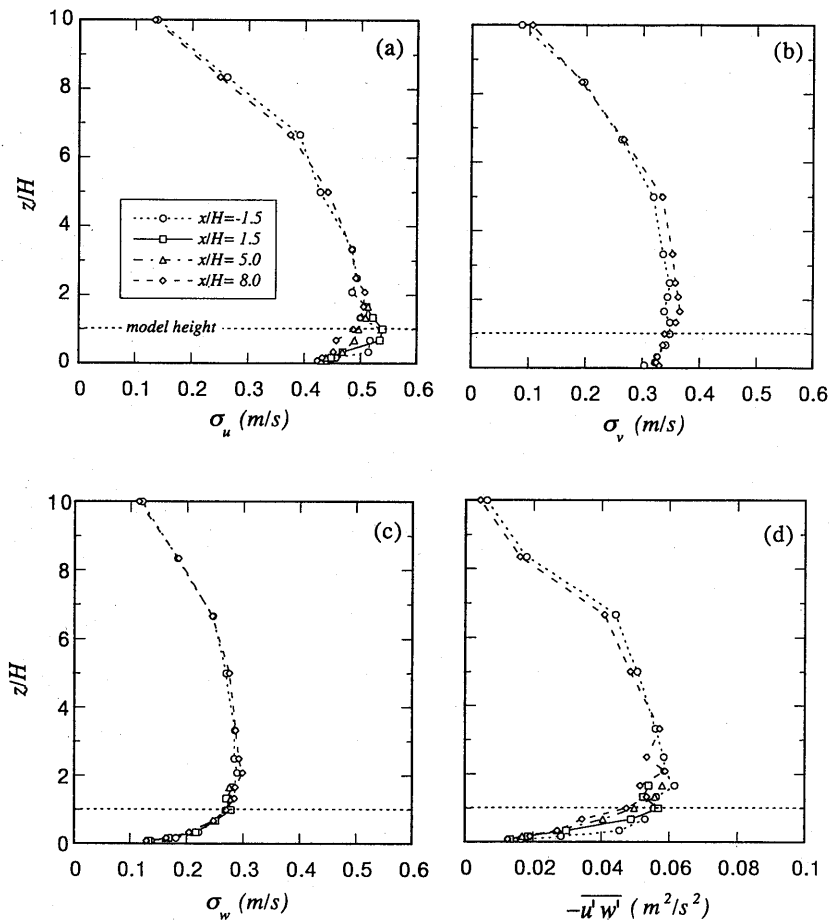


Fig. 3. Profiles of (a) σ_u , (b) σ_v , (c) σ_w and (d) $-\overline{u'w'}$ (without the building).

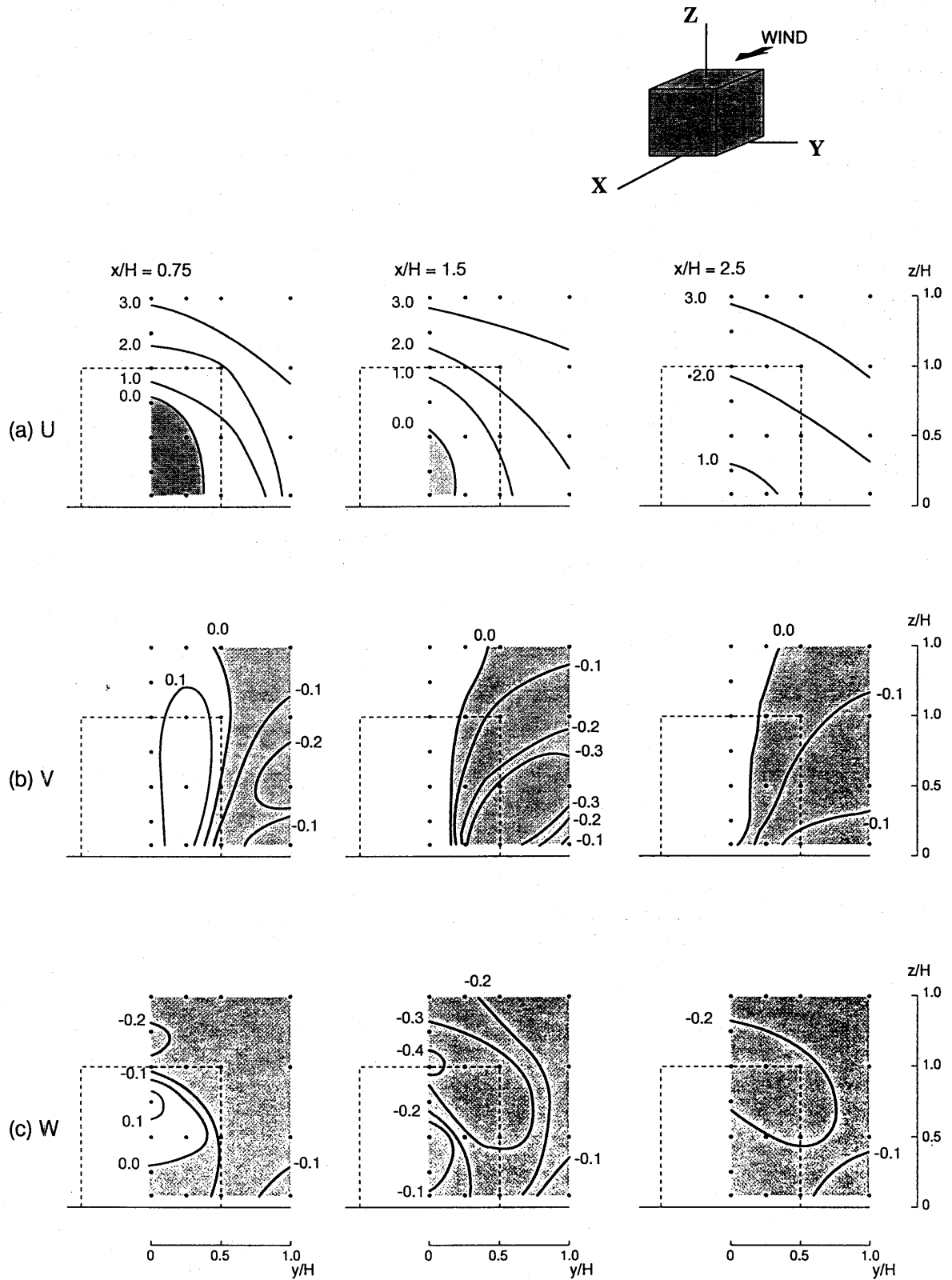


Fig. 4. Contour of scalar wind speed in the $y-z$ plane.
 (a) U (b) V (c) W

2.3 濃度の計測方法

トレーサガスにはエタン (C₂H₆) を用い、建物モデル屋根面に設けた排出口より 215 cc/min の割合で排出した (排出速度: $V_s=3.2$ cm/s)。排出速度比 V_s/U は、0.0106 ($U=3$ m/s at $z=12$ cm) である。濃度の計測には高速炭化水素計 (Cambustion 社, HFR-400) を用い、60 秒間の統計値を求めた。濃度変動の測定において、炭化水素計の出力を 1 ms の間隔で A-D 変換を行い 6 万個 (60 秒間) のデータをサンプリングした。また、計器の応答性 3ms^{19} を考慮し元データを 5 ms の移動平均を行った上で統計値を求めた。

3. 乱流場の計測結果

数値解析の流入条件として風洞気流のデータが必要である。最初に建物モデルを設置しない状態における風洞気流の流れの特性を示し、次に建物を設置した場合の計測結果を示す。建物モデルを設置した計測では、3つの yz 断面 ($x/H=0.75, 1.5, 2.5$) における乱流計測を行った。流れの中心軸上の平均速度および乱れの標準偏差の空間分布を示し、次に各 yz 断面におけるそれらの鉛直分布を示す。計測は流れの対称性を考慮して建物後流の半分の領域とした。

3.1 風洞気流

Fig. 2 は、建物モデルを設置しない状態における風洞気流の平均風速を示す。図中の実線は、べき指数 $\alpha=0.25$ の速度分布を表す。 $z/H=1\sim 10$ の高さ範囲において平均風速の鉛直分布は $\alpha=0.25$ の曲線に従い、 $z/H=1$ 以下の高さ範囲では、下流ほど平均風速の回復が見られる。また、 $z/H=10$ より高い所では平均風速の値がほぼ一定である。Fig. 3 に同様に 3 つの変動風速の標準偏差 (Fig. 3a, b, c) およびレイノルズ応力 (Fig. 3d) の鉛直分布を示す。高さ $z/H=1$ 以下の範囲において、流れ方向成分の標準偏差 σ_u とレイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ の値は下流側ほど小さくなるが、流れに直角方向成分の標準偏差 σ_v と σ_w の値はほぼ一定である。

3.2 平均速度および乱れの標準偏差の空間分布

Fig. 4 には、建物を設置した場合の建物後流の 3 つの yz 断面における平均速度成分 u, v, w の等値線を示す。各図とも流れは紙面の奥から手前に向かって流れている。図中の数字は風速値 (m/s) を表し、風速が負の領域を網線で示す。平均速度成分 u において (Fig. 4a), 建物直後の $x/H=0.75$ 断面では大きな逆流が生じているが、下流 ($x/H=1.5$) ほど逆流域

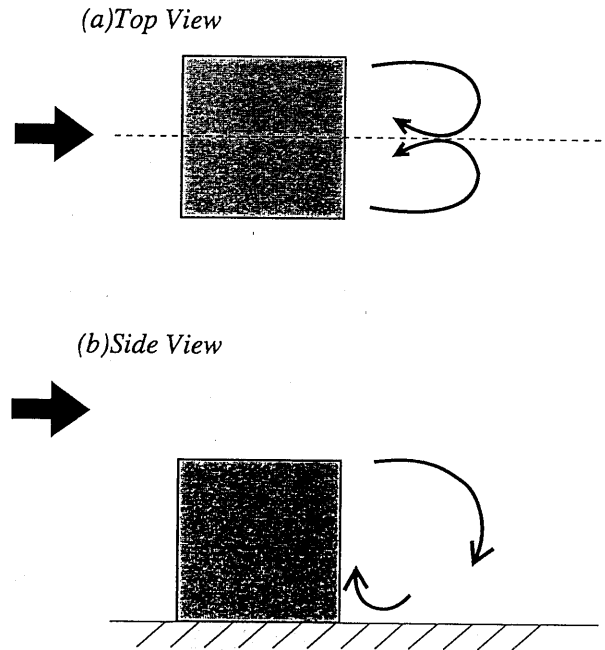


Fig. 5. Schematics of the flow pattern in a building wake.

が次第に小さくなり、 $x/H=2.5$ 断面では逆流域が全く現れない。Fig. 4b には、同様な断面における速度成分 v の等値線を示す。建物の背後に建物を取り囲む流れ (Fig. 5a) が存在するために、中心断面を除いて速度成分 v の平均値が殆どの断面で負になっている。ただし、建物直後の $x/H=0.75$ 断面においては、建物背後に生ずる双子渦の位置にて速度成分 v の値が一部正となる。Fig. 4c には速度成分 w の等値線を示す。建物の背後では速度成分 w の値が殆どの領域において負となっており、その最小値は $x/H=1.5$ 断面の建物高さの位置で見られる。このことは建物の背後での流れは殆ど下降流 (Fig. 5b) となっていることを表す。ただし、建物直後の $x/H=0.75$ 断面においては建物後流の位置に速度成分 w の値が一部正となる。

Fig. 6 には $x/H=0.75, 1.5, 2.5$ の 3 断面における速度成分 3 成分の標準偏差の等値線を示す。値の大きさを網線の濃淡にて表した (数字の単位は m/s)。速度成分 u の標準偏差の大きな値は何れの断面においても建物の屋根面と側面の位置するところに現れ、流れの逆流域において小さい値を示す (Fig. 6a)。速度成分 v の標準偏差 (Fig. 6b) において、建物直後の $x/H=0.75$ 断面では、その値が屋根面の位置するところで大きくなっているが、下流ほど値の大きい領域が建物高さ以下の範囲までに拡がり、ピーク値の位置も次第に低くなる。建物直後の断面 ($x/H=0.75$) の

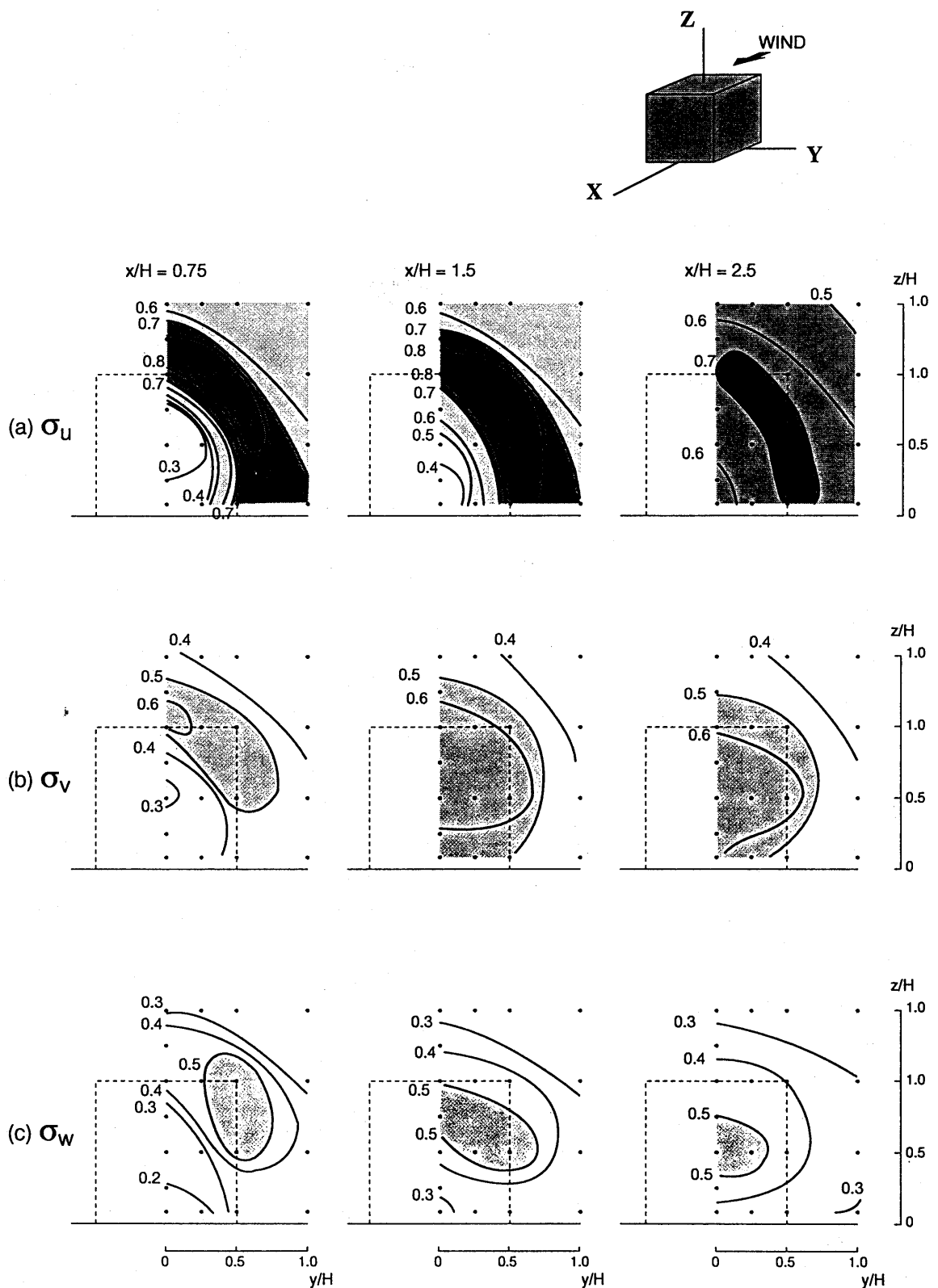


Fig. 6. Contour of standard deviation of velocity in the $y-z$ plane.
 (a) σ_u (b) σ_v (c) σ_w

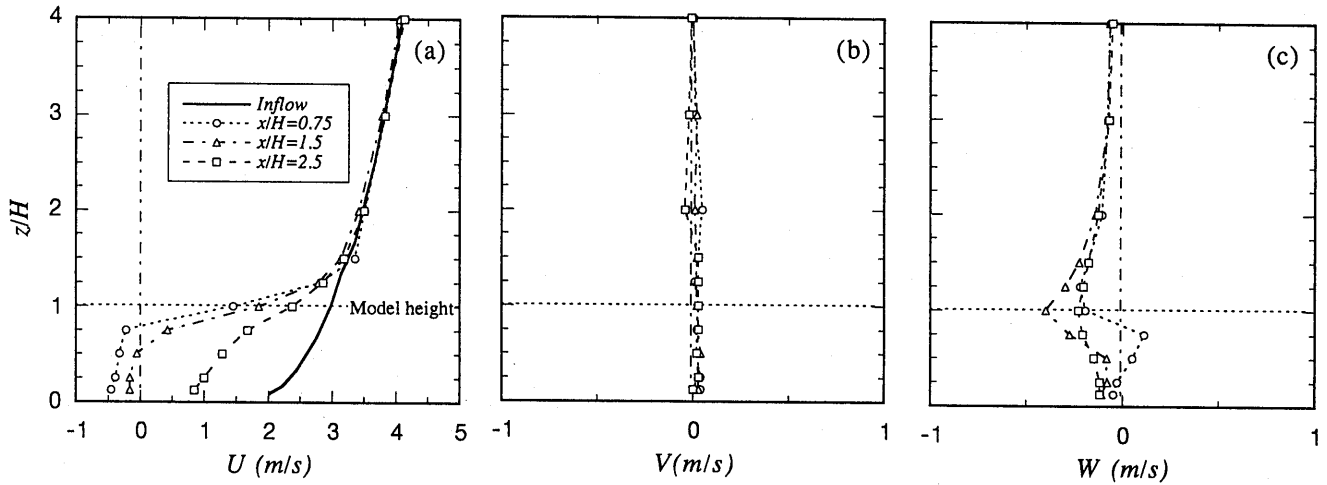


Fig. 7. Vertical profiles of wind speed. (a) U (b) V (c) W

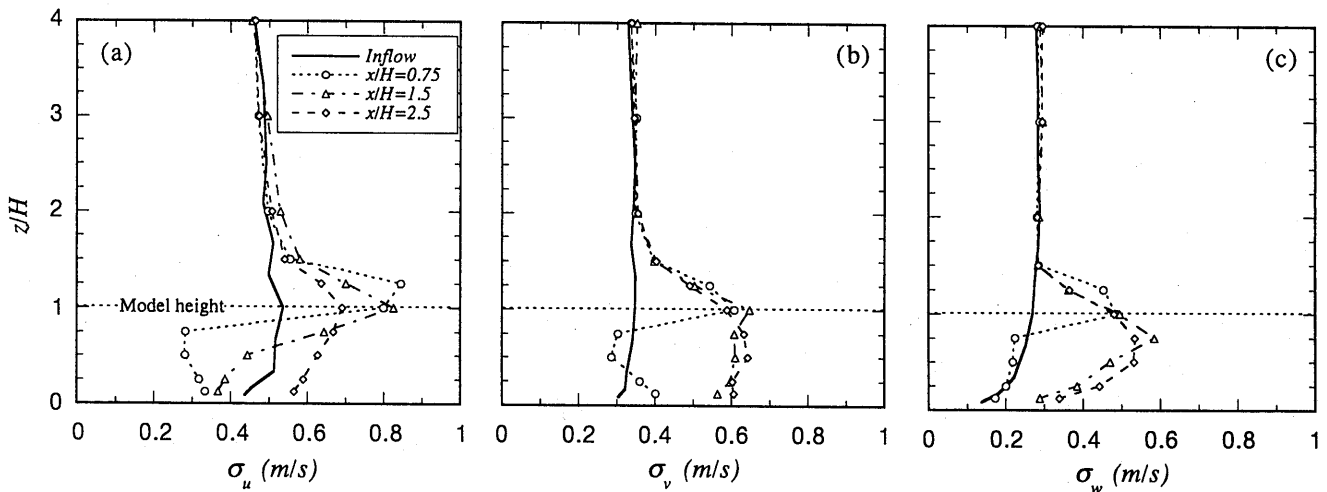


Fig. 8. Vertical profiles of standard deviation of velocity. (a) σ_u (b) σ_v (c) σ_w

屋根面高さでは剥離により作られるものが支配的であるが下流ほどカルマン渦の成分が支配的となる。速度成分 w の標準偏差 (Fig. 6c) は、速度成分 v と同様、建物直後の断面 ($x/H=0.75$) では屋根面の高さで大きい値を示すが、下流にいくに従い値の大きい領域が建物高さ以下の範囲までに拡がり、そのピーク値の位置も次第に低くなる。ただ異なる点は速度成分 w が壁面の影響を強く受けるため、床面に近い位置の値は小さくなっている点である。

3.3 流れの中心軸上の鉛直分布

Fig. 7には、建物モデルを設置した場合の流れの中心軸上 ($y/H=0$) の平均風速の鉛直分布を示す。図中の実線は接近流 U の値を表す。速度成分 u の鉛直分布 (Fig. 7a) において、建物直後の断面 $z/H=0.75$ の地表では接近流の風速値の25%の大きさの負の値

を示し、風下にいくに従い負の値は小さくなる。更に下流の $z/H=2.5$ では正の値となり接近流 U の40%の値まで風速が回復する。流れの中心軸上の速度成分 v の値は、ほとんどの位置で0に近い値となっている (Fig. 7b)。速度成分 w の値は (Fig. 7c)、ほとんどの位置で負となり、その最大値は $z/H=1.5$ の建物高さで接近流 U の負の値を示し強い下降流が形成されている。Fig. 8には、建物背後における速度3成分の標準偏差の鉛直分布を示す。図中の実線は接近流の乱れの速度成分の値を示す。速度成分 u の標準偏差 (Fig. 8a) の最大値は、建物直後の高さ $z/H=1.25$ に生じ、その大きさは接近流 σ_u の1.6倍である。また、最小値は、同じ直後の断面 $z/H=0.5$ で起こり、接近流の55%の大きさである。速度成分 v の標準偏差 (Fig. 8b) は、建物直後 $x/H=0.75$ の断面を除き、建物高さ以下の層で接近流 σ_v の1.9倍の大きな値と

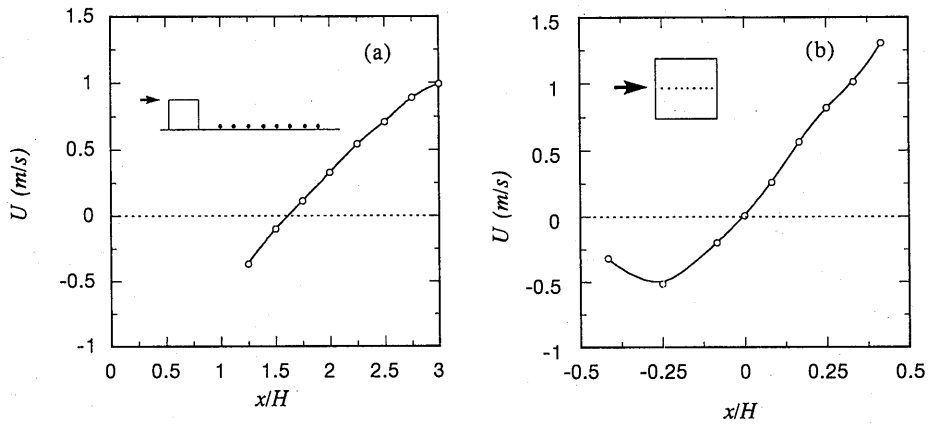


Fig. 9. Reattachment points of (a) on the ground and (b) on the roof.

なる。速度成分 w の標準偏差 (Fig. 8c) は、建物直後 $x/H=0.75$ の断面を除き、高さ $z/H=0.75$ でピークが現れ接近流れ σ_w の約 2.2 倍となり、地表に近づくとに従いやや減少し接近流の約 1.8 倍となる。

3.4 建物近傍の再付着点

建物後流域および屋根面における再付着点を調べるために、床面および屋根面から 5 mm 離れた位置で流れの方向の速度成分 u を測定した。Fig. 9a に建物の後流域における測定結果を示す。再付着点位置 (流れ方向の速度成分が 0 となる点) は $x/H=1.6$ にある。Fig. 9b には建物屋上における測定結果を示す。屋根面での再付着点はほぼ屋根面の中心位置 ($x/H=0$) にある。

4. 濃度場の計測結果

トレーサガス拡散実験に使用した風洞および建物モデルは流れ場の計測に用いたものと同様である。建物

モデルの屋根面には、2種のトレーサガス排出口を設けた (Fig. 10)。1つは屋根面の風下コーナー部 (S1) に、他の1つは屋根面中央 (S2) に位置し、両排出口とも直径 1.2 cmφ の円形断面である。排出口 S1 のケースでは、濃度変動の測定も行った。また、排出口 S2 のケースの計測は流れの対称性を考慮して建物後流の半分の領域とした。測定した濃度は、無次元化濃度 C^* (CUH^2Q) で整理した。ここで、 C は、測定点におけるトレーサガス濃度 (ppm)、 U は建物高さ H の風速 (m/s)、 Q は純トレーサガス (C_2H_6) の排出量 (cc/s) を表す。

4.1 屋根面風下コーナーに排出口を設けた場合

屋根面の風下コーナーに位置する排出口 S1 よりトレーサガスを排出した場合の実験結果について述べる。Fig. 11 には高さ $z/H=1.025$ (屋根面より 3 mm 上) における屋根面の濃度分布を示す。排出口の周囲および風下方向に高濃度域が形成されている。また、屋根面に生じた逆流により (Fig. 9b) 風上方向にもガス

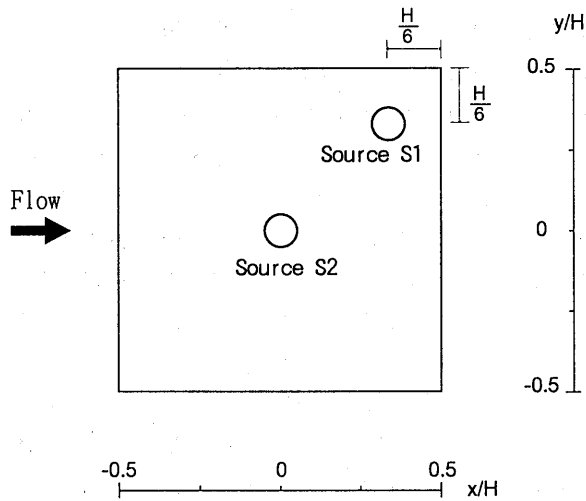


Fig. 10. Source positions of S1 and S2 on the roof.

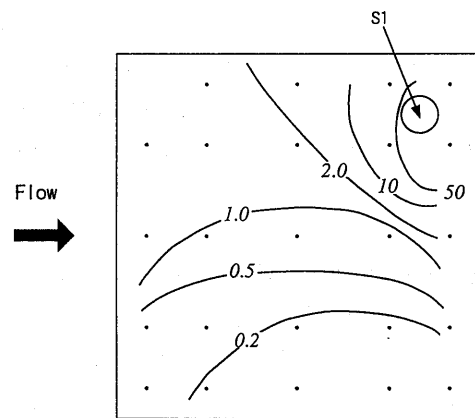
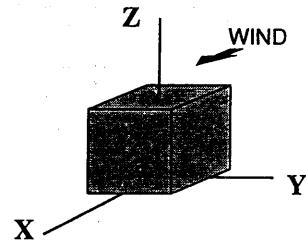
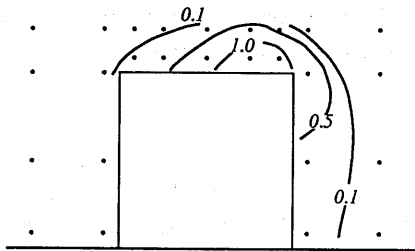


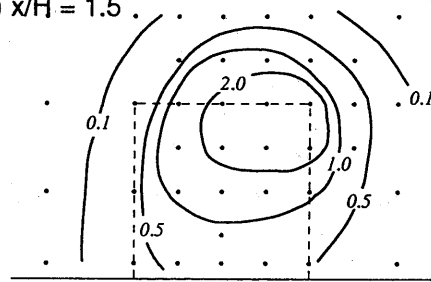
Fig. 11. Normalized concentration pattern of source S1 on the roof.



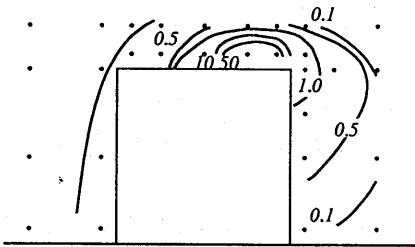
(a) $x/H = 0$



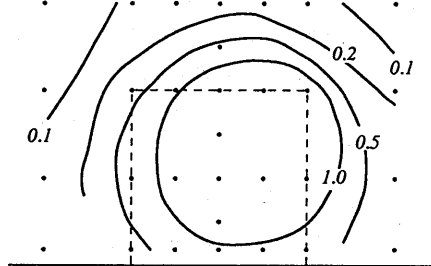
(d) $x/H = 1.5$



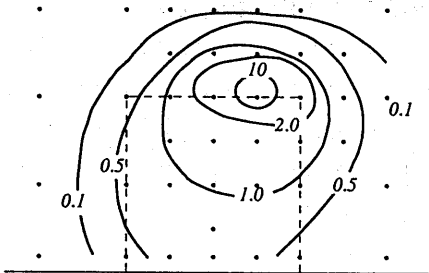
(b) $x/H = 0.45$



(e) $x/H = 2.5$



(c) $x/H = 0.75$



(f) $x/H = 5.0$

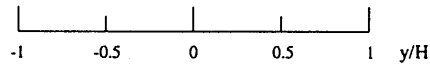
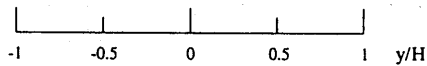
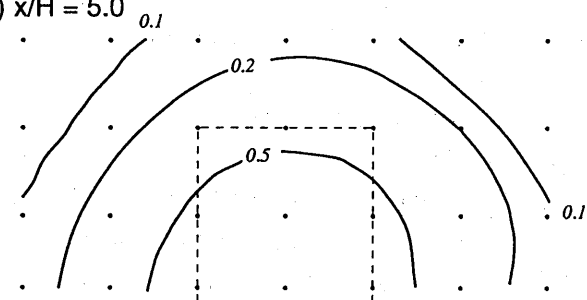


Fig. 12. Normalized concentration patterns of source S1 in the $y-z$ plane.

- (a) $x/H=0$ (b) $x/H=0.45$ (c) $x/H=0.75$ (d) $x/H=1.5$ (e) $x/H=2.5$
 (f) $x/H=5.0$

が輸送されている状態が現れている。

Fig. 12には、排出口S1における流れに対して直角な6つの鉛直断面 ($x/H=0, 0.45, 0.75, 1.5, 2.5, 5.0$) の濃度分布を示す。風は紙面の奥から手前に流

れている。屋根面の中心を通る $x/H=0$ の鉛直断面 (Fig. 12a) では、流れの中心軸からやや偏った $y/H=0.25$ の屋根面近傍に高濃度が検出されている。この断面は排出口の風上側に位置するが、屋根面上の

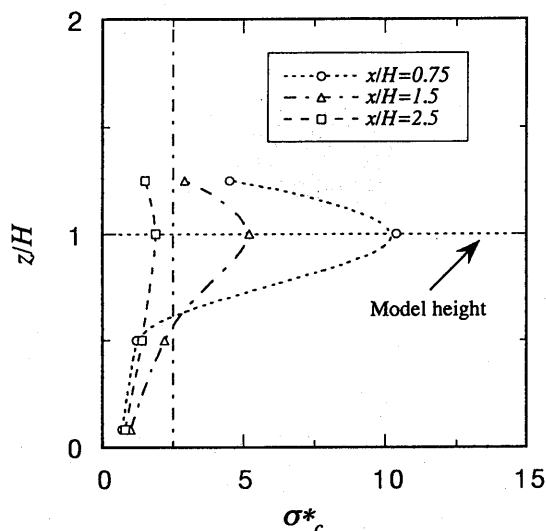


Fig. 13. Vertical profiles of the standard deviation of the concentration.

強い乱れによってトレーサガスが風上側に輸送されている。排出口の風下直後の断面である $x/H=0.45$ (Fig. 12b) では、屋根面近傍 $y/H=0.25$ にピークが生じている。また、屋根面の風上側の $x/H=0.45$ の鉛直断面では、トレーサガスの濃度はほとんど検出されない。

建物風下における $y/H=0.75$ 断面 (Fig. 12c) では、屋根面における排出口位置のずれを反映し、中心からずれた $y/H=0.25$ にピークが生じている。同様な傾向が $x/H=1.5, 2.5$ 断面 (Fig. 12d, 12e) にも現れている。更に風下の $x/H=5.0$ 断面 (Fig. 12f) では、中心からのずれは小さくピークの位置が地表面近傍に生じている。

Fig. 13 には、流れの中心軸の3つの yz 断面 ($x/H=0.75, 1.5, 2.5$) における σ_c^* の鉛直分布を示す。ここで σ_c^* は、濃度変動成分 c^* の標準偏差を表す ($\sigma_c^* = \sqrt{c^{*2}}$)。濃度変動のピークは建物高さの位置に出現している。そのピーク値は、風下にいくに従い小さくなる。

4.2 屋根面中央に排出口を設けた場合

屋根面中央に位置する排出口 S2 よりトレーサガスを排出した場合の実験結果について述べる。Fig. 14 には高さ $z/H=1.025$ (屋根面より 3 mm 上) における屋根面の濃度分布を示す。風上に高濃度域が形成されている。これは屋根面に生じた強い乱れにより中央から排出されたガスが風上方向に輸送されることによる。

Fig. 15 には、流れに対して直角な6つの鉛直断面

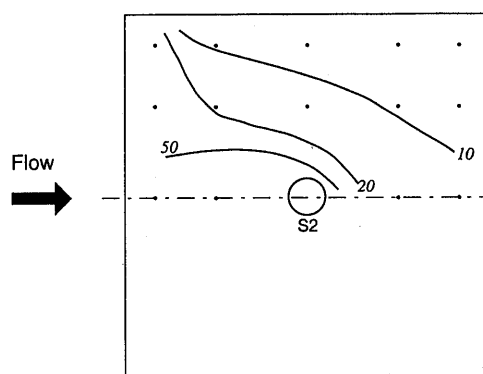


Fig. 14. Normalized concentration pattern of source S2 on the roof.

($x/H = -0.45, 0, 0.45, 0.75, 1.5, 2.5$) の濃度分布を示す。 $x/H = -0.45$ 断面 (Fig. 15a) は、排出口 S2 の風上に位置するが屋根面上にガスが検出され、逆流により風上方向にガスが輸送されている状態が現れている。 $x/H = 0$ 断面 (Fig. 15b) は、排出口の中央を通る断面であり、屋根面の近傍で高濃度が現れている。また、高さ $z/H=1.5$ にもガスが検出され上方までガスが拡散している。 $x/H=0.45$ 断面 (Fig. 15c) は、排出口の風下に位置する場所である。 $x/H=0$ 断面と同様に、ガスが広範囲に上方まで拡散している。

建物風下の $x/H=0.75$ 断面 (Fig. 15d) では、建物高さ ($z=H$) に高濃度の領域が現れており、風下の $x/H=1.5$ (Fig. 15f) でも同様な傾向が現れている。

4.3 排出口の設置位置の効果

Fig. 16 には、建物風下の3高度における流れに対して直角方向の濃度分布を示す。図中の白印は排出口 S1 を黒印は排出口 S2 における結果を表す。排出口 S2 の y 方向の負の値は、計測を行っている正のデータを対称にプロットした。

建物高さ $z/H=1$ (Fig. 16a) において、排出口 S1 の場合、建物直後の $x/H=0.75$ の距離に顕著なピークが生じており、流れの中心から偏った ($y/H=0.25$ 付近) 位置にピークが現れている。しかし、 $x/H=1.5, 2.5$ と風下ほどこの偏りは小さくなる。また、それらの濃度は排出口 S2 の場合よりも大きな値である。この結果は、排出口 S1 と S2 の位置の差を補正した場合も同様である。これは屋根面の初期拡散の状況の差違によるものと考えられる。排出口 S1 は、屋根面の風下コーナーに位置することにより、屋根面の流れの特性から排出されたガスは風下にそのまま移送される傾向にある。そのため建物の直後では、ガスが

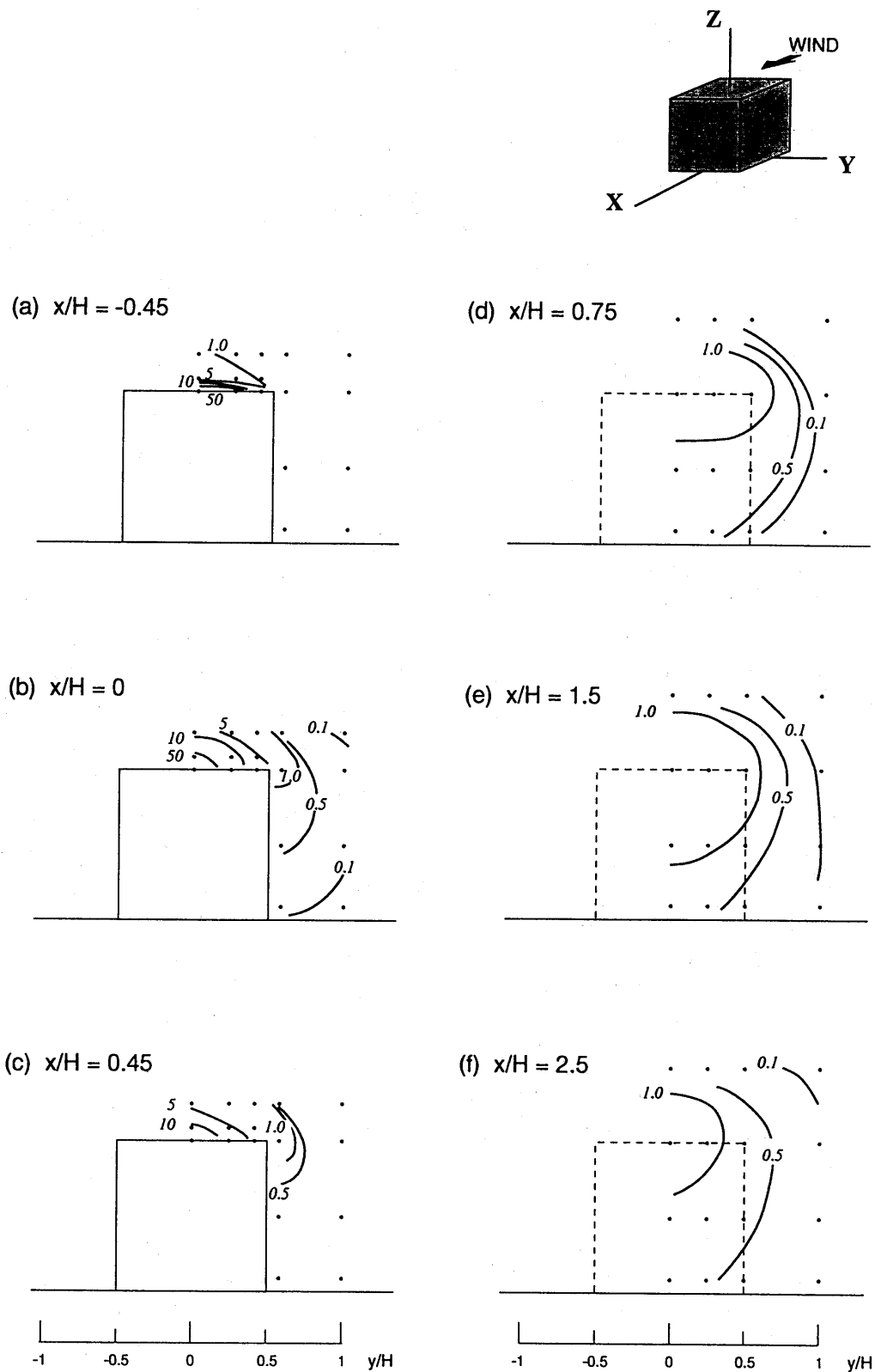


Fig. 15. Normalized concentration patterns of source S2 in the $y-z$ plane.
 (a) $x/H = -0.45$ (b) $x/H = 0$ (c) $x/H = 0.45$ (d) $x/H = 0.75$ (e) $x/H = 1.5$ (f) $x/H = 2.5$

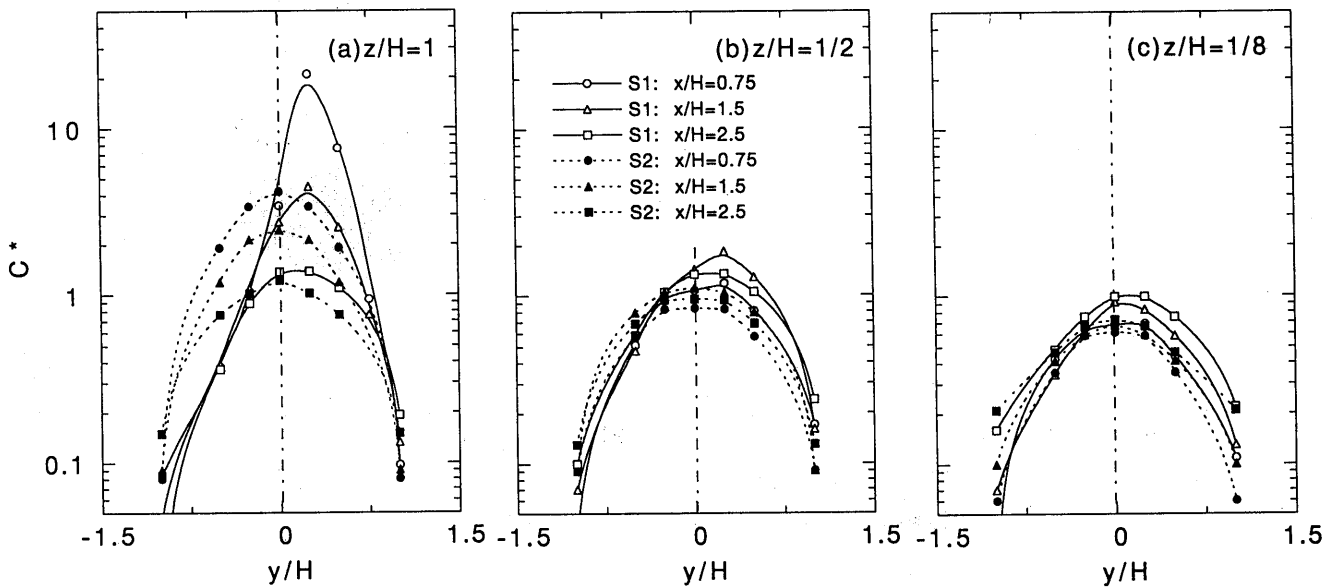


Fig. 16. Horizontal concentration profiles at (a) $z/H=1.0$, (b) $z/H=1/2$ and (c) $z/H=1/8$.

希釈されにくく高濃度が生ずる。一方、屋根面の中心に位置する排出口 S2 では、屋根面に生じた逆流によりガスが広範囲に拡がり排出口 S1 に比べ相対的に低い濃度の初期拡散の状態となる。下層の高さ $z/H=1/2$ (Fig. 16b) においては、上層の高さ $z/H=1$ で現れた排出口 S1 のピークのずれは小さくなり、その濃度値も低い。更に地表面近傍の高さ $z/H=1/8$ (Fig. 16c) でも同様な傾向にあり、ピーク濃度の偏りは小さく排出口 S2 との濃度差も小さくなる。

5. まとめ

建物近傍の大気汚染物質の拡散予測に関する研究を行った。本論文その1では建物モデル一辺が 12 cm の立方体を風洞に設置し流れ場と拡散場の計測を行った。流れ場の計測は、逆流域の計測が可能なスプリットファイバースプロブを用いた。また、拡散場の測定は、屋根面において2つの異なる位置に設置した排出口よりトレーサガスを排出し近傍の濃度を測定した。その結果を以下に示す。

(1) 屋根面には逆流が生じており、再付着点は屋根面の中心位置にある。建物背後では大きな逆流域が形成され中心から建物高さの 1.6 倍の距離に再付着点が生じている。建物の背後の速度成分 v の平均値は、建物を回り込む流れの存在により負の値となる。また、速度成分 w の平均値は、建物の背後の下降流の形成により殆どの領域において負となる。

(2) 建物の直後の風下断面では、屋根面での剝離に伴う大きな乱れが建物高さの位置に生じている。速度成分 u 成分では、下流においてもこの乱れの大きな

領域は保たれる。一方、速度成分 v および w の標準偏差の大きな値の領域は、下流ほど建物高さ以下の範囲に拡がっていき、そのピーク値の位置も低くなる。

(3) 屋根面の風下コーナーに位置する排出口の場合、建物直後の断面で建物高さにおいて顕著なピークが形成される。そのピーク位置は、排出口位置の偏りを反映し流れの中心から偏った位置に生じているが、風下にいくに従いこの偏りは小さくなる。また、それらの濃度は、建物背後の近い断面では屋根面中央の排出口の場合よりも大きな値である。これは屋根面の初期拡散の状況の差による。

謝辞

実験計画の立案にあたり御検討と御助言をいただいた大阪府立大学工学部星野叡史博士に心より感謝いたします。

(受稿 1998.4.6)

文献

- Gifford, F. A.: Atmospheric Dispersion Calculations Using the Generalized Gaussian Plume Model, Nuclear Safety, 2, 56-59 (1960).
- Gifford, F. A.: An Outline of Theories of Diffusion in the Lower Layers of the Atmosphere, Meteorology and Atomic Energy, Chapter 3, in Slade, D. H. (Ed.) 56-59 (1968).
- Huber A. H. and Snyder W. H.: Building Wake Effects on Short Stack Effluence, 3rd Symposium on Atmospheric Turbulence and

- Air Quality, **12**, 2837-2848 (1976).
- 4) Huber A. H. and Snyder W. H.: Wind Tunnel Investigation of the Effects of a Rectangular-shaped Building on Dispersion of the Effluents from Short Adjacent Stacks, *Atmos. Environ.*, 235-242 (1982).
 - 5) Huber A. H.: Wind Tunnel and Gaussian Plume Modeling of Building Wake Dispersion, *Atmos. Environ.*, **25A**, 1237-1237 (1991).
 - 6) Fackrell, J. E.: Examination of Simple Models for Building Influenced Dispersion, *Atmos. Environ.*, **18**, 88-98 (1984).
 - 7) Halisky, J.: Gas Diffusion near Buildings, *ASHRAE Trans.*, **69**, 464-485 (1963).
 - 8) Wilson, D. J.: Concentration of Air Intakes from Roof Exhaust Vents, *ASHRAE Trans.*, **82**, 1024-1038 (1976).
 - 9) Meroney, R. N. and Yang, B. T.: Wind Tunnel Study on Gaseous Mixing due to Various Stack Heights and Injection Rates above an Isolated Structure, Colorado State Univ. Fluid Dynamics and Diffusion Lab. CER71-72RNM-BTY16 (1971).
 - 10) Robins, A. G. and Castro, I. P.: A Wind Tunnel Investigation of Plume Dispersion in the Vicinity of a Surface-mounted Cube-I. The Flow Field, *Atmos. Environ.*, **11**, 291-297 (1977).
 - 11) Robins, A. G. and Castro, I. P.: A Wind Tunnel Investigation of Plume Dispersion in the Vicinity of a Surface-mounted Cube-II. The Concentration Field, *Atmos. Environ.*, **11**, 299-311 (1977).
 - 12) Ogawa, Y., and Ohara, T.: Observation of the Turbulent Structure in the Planetary Boundary Layer with a Kytoon-mounted Ultrasonic Anemometer System, *Boundary-Layer Meteorol.*, **22**, 123-131 (1982).
 - 13) Ogawa, Y. and Oikawa, S.: A Field Investigation of the Flow and Diffusion around a Model Cube, *Atmos. Environ.*, **16**, 207-222 (1982).
 - 14) Tutu, N. K. and Chevray, R.: Cross-wire Anemometry in High Intensity Turbulence, *J. Fluid Mech.*, **71**, 785-800 (1975).
 - 15) 佐々木久浪, 木谷 勝: スプリットフィルムプローブによる逆流領域の乱流測定, 日本機化学会論文集, B51, 1615-1618 (1985).
 - 16) Boerner, T. and Leutheusser, H. J.: Calibration of split-fiber probe for use in bubbly two-phase flow, *DISA Info.*, No. 29, 10-13 (1984).
 - 17) Kiya, M. and Sasaki, K.: Structure of a Turbulent Separation Bubble, *J. Fluid Mech.*, **137**, 83-113 (1983).
 - 18) 孟 岩, 日比一喜: 高層建物屋上の流れ場の乱流特性と組織運動, 日本風工学会誌, No. 72, 21-34 (1997).
 - 19) 老川 進, 孟 岩: 建物後流における短時間ピーク濃度の性状について, 大気環境学会誌, **33**, 151-163 (1998).

An Experimental and Numerical Study of Concentration Prediction Around a Building Part I Wind-tunnel Study

Susumu OIKAWA*, Takeshi ISHIHARA*, Ryusuke YASUDA**,
Koichi NISHIMURA*** and Minoru HASE****

* Environmental Engineering Department Institute of Technology SHIMIZU CORPORATION
No. 4-17, Etchujima, 3-chome, Koto-ku, Tokyo 135-8530, JAPAN

** College of Engineering Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuen-cho, Sakai, Osaka, 599-8531, JAPAN

*** Fundamental Research Laboratories Research and Development Department Osaka Gas Co., LTD.
Science Center Building 3rd 1 Awata-cho Chudoji, Shimogyo-ku, Kyoto, 600-8815, JAPAN

**** Environment Assessment and Development Department Osaka Gas Co., LTD. 4-1-2, Hiranomachi, Chuo-ku, Osaka, 541-0046, JAPAN

Part 1 of this study investigated the flow and diffusion around a cube in a wind tunnel. The flow around a cube was measured with a split-fiber probe designed for measuring flow velocity in those regions of highly turbulent and reversing flows. The rooftop and wake region concentrations of tracer gas released from two different sources (one at the center and one at the downwind corner of the rooftop) were measured.

In the wake region, the flow reattachment behind the building occurred at 1.6 times the building height

from the model center. A high turbulent flow region was observed at roof level and behind the cube in the planes of its sides. The data of the standard deviation of u -component velocity showed that the high turbulence region persisted throughout the downwind region. The high turbulent regions v - and w -components increased in area and neared the ground with respect to the down-wind distance.

In the case of the corner emission source on the rooftop, the peak concentration just behind the building occurred at rooftop level. As the source was on the corner of the roof and not in the center, the position of the peak concentration was to the one side of the building, but moved closer to the center as it moved farther downwind. In the case of the center emission, the degree of concentration near the building was less than that of the corner emission as a result of the initial difference in diffusion.

Key words: prediction, wind tunnel study, building, concentration, dispersion, flow