

# 建物群内における流れと拡散に関する実験的研究

## その2. 拡散場の測定

老 川 進\*・孟 岩\*

# 建物群内における流れと拡散に関する実験的研究

## その2. 拡散場の測定

老 川 進\*・孟 岩\*

### A Wind-tunnel Study of the Flow and Diffusion Within Model Urban Canopies

#### Part 2. Concentration measurements

Susumu OIKAWA\* and Yan MENG\*

本論文は、同名論文その1の流れ場の測定に続き、建物密度を変化させた場合の拡散場への影響を系統的に調べた結果を述べたものである。ここでは建物密度を4種変化させ、屋根面に排出源がある場合の拡散場を測定した。

その結果、屋根面の拡散性状は、建物密度が小さな場合は屋根面で排出されたガスは排出源の上流側にも移送され上流側で高濃度となる。一方、建物密度が増大すると屋根中央から放出されたガスは広く拡散せず直接排出源の下流側に流され下流点で高濃度を生じる。こうした屋根面上の濃度性状は、屋根面の流れの性状に強く依存し修正した Wilson のモデル式で予測できることを示した。

また、建物群内における地表面の最大濃度は、排出源建物モデルの風下にある建物モデル前面にピークが現れ、その出現位置はモデル間の距離に依存する。これは風下建物の存在により、排出されたガスが風下の建物モデルの前面に衝突し、ガスが cavity flow により地表面へ向かって輸送されることによる。この場合、建物密度が大きな時は過小評価の傾向にあるものの、地表面最大濃度は、Briggs の都市域の拡散パラメータを用いることによって概ね評価することができる。

### 1. はじめに

これまでの都市域の建物近傍の拡散場の研究の多くは、都市キャニオン (urban street canyon) を対象に行われてきた。Georgii *et al.*<sup>1)</sup> は、均一な建物が規則正しく並び上空の風がキャニオンに対して直角に吹く時、キャニオンの風下側より風上側の一酸化炭素濃度が高くなることを測定し、キャニオン内に特徴的な渦が発生することを初めて示唆した。その後、都市キャニオンの循環流と濃度に関わる研究は、多くの野外観測 (Johnson *et al.*<sup>2)</sup>, Dabberdt *et al.*<sup>3)</sup>, DePaul and Sheih<sup>4)</sup>, Devidson *et al.*<sup>5)</sup>) および風洞実験において報告されている (Hoydysh and Chiu<sup>6)</sup>, Hoydysh *et al.*<sup>7)</sup>, Wedding *et al.*<sup>8)</sup>)。これらの研究のほとんど

は、都市域における道路上の車からの排気ガスを対象としている。そのため排出源が地面近傍の線源であり、屋根面上の点源を対象とした研究例は少ない。また、これらの研究は建物間の距離が非常に近い時に生ずる特徴的な渦の生成とその濃度パターンに関心がおかれている。そのため建物の間隔が離れて配置された場合など、建物密度が変化した時に拡散場がどう変わるかについて明らかでない。また、流れ場および拡散場を同時に計測した研究例は少なく、都市域の建物近傍の拡散現象が十分に解明されているといいがたい。

本研究その1<sup>9)</sup>では、建物密度を系統的に変化させた場合の流れ場を定量的に調べた。本論文では同様に建物密度を変化させ、屋根面に排出源がある場合の建物間の拡散場の特徴および屋根面と地表面濃度を予測

\* 清水建設技術研究所 〒135 東京都江東区越中島 3-4-17

するための簡易式について述べる。

## 2. 実験方法

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<sup>9)</sup>で用いたものと同様である。建物 M1 の屋根面中央にはトレーサガス放出口 (内径: 8 mmφ; 1/10 H) を設けた。トレーサガスはエタン (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) を用い 200 cc/min の割合で排出した (排出速度 V<sub>s</sub>=6.5 cm/s)。この排出条件は、建物近傍に最も高濃度が生じる条件である (低い排出速度比, 低い煙突高さ比, 低浮力)。濃度の計測は炭化水素計 (Cambustion 社, HFR-400) を用い 60 秒間の平均濃度を求めた。濃度変動成分の測定では、1 kHz で 12 万個のサンプリングを行った (応答性 3 msec at 200 mmHg FID, プローブ内径 0.25 mmφ, 長さ 18 cm)。拡散場における風速は 4 m/s (z=40 cm) に設定した。濃度のデータは建物中間地点のモデル高さ H の風速 U (その 1<sup>9)</sup> の Fig. 5(a) の z/H=1 に位置する風速値) を用いた無次元化濃度 C\* (=CUH<sup>2</sup>/Q) で整理した。ここで、C は測定点におけるガス濃度を、U は建物高さ H の風速を、Q は排出源強度を表す。

一般に、建物近傍の大気汚染物質濃度 C は、気象要素 (Mi)、建物要素 (Bi)、排出源要素 (Si) の 3 つのカテゴリーのパラメータに支配される (Theurer<sup>10)</sup>)。測定点 (x, y, z) における無次元化濃度 C\* を Fig. 1 に示した主要なパラメータで表すと (1) 式の様に表現できる。

$$C^*(x, y, z) = f((Iu, \phi, \text{stab.})_{Mi}, (Vs/U, hs/H, Ts)_{Si}, (H^*, \rho_z)_{Bi}) \quad (1)$$

本研究では建物密度 ρ<sub>z</sub> の変化した場合の基本的な拡散現象を把握するために、気象要素 (Mi) において、

風の流入角 (φ) は一定とし、大気の熱的成層状態 (stab.) は中立とした。排出源要素 (Si) では、排出速度比 (Vs/U) は小さくし、煙突高さは屋根面と同一 (hs/H=1) とし、排出ガス温度 (Ts) は、常温とした。また、建物要素 (Bi) の建物形状 (H\*) は幾何学的に単純な立方体とした。本研究ではトレーサガスのジェットの影響をなくするために排出速度比 Vs/U を小さく設定した。建物密度が変化すると建物高さの風速は 1.1~1.7 m/s の範囲で変化し、その時排出ガス速度比 Vs/U は 0.04~0.06 の範囲で変わる。予備実験 (風速を一定とし排出ガス量を変化) によって、Vs/U が 0.01~0.09 の範囲では風下の C\* は一定の値となることを確認した。Fig. 2 に実験概要図を示す。

## 3. 測定結果

### 3.1 屋根面の濃度分布

Fig. 3 には、建物密度 ρ<sub>z</sub> が 10, 20, 30, 40% における屋根面上 (z=82 mm) の水平濃度分布を示す。ρ<sub>z</sub>=10% では、トレーサガスが排出源の上流および下流側の両方に拡散され、上流側、下流側ともに顕著な高濃度域が形成されていない。建物密度 20% では、建物密度の小さな 10% の場合と異なり、上流側にわずかにトレーサガスが検出されるものの、排出源の下流側に高濃度域が形成されている。建物密度 30%, 40% では、上流側にはトレーサガスがほとんど検出されず、排出源の下流側に高濃度域が形成されている。このような濃度パターンの変化は、屋根面上における流れの性状の違いによるものである。建物密度が 10% の場合は、屋根面上の流れが大きく剥離するために屋根面上の逆流の発生頻度 (I<sub>r</sub>) が 13.7% となり (その 1<sup>9)</sup> の Table 2), そのため排出源の上流側にもト

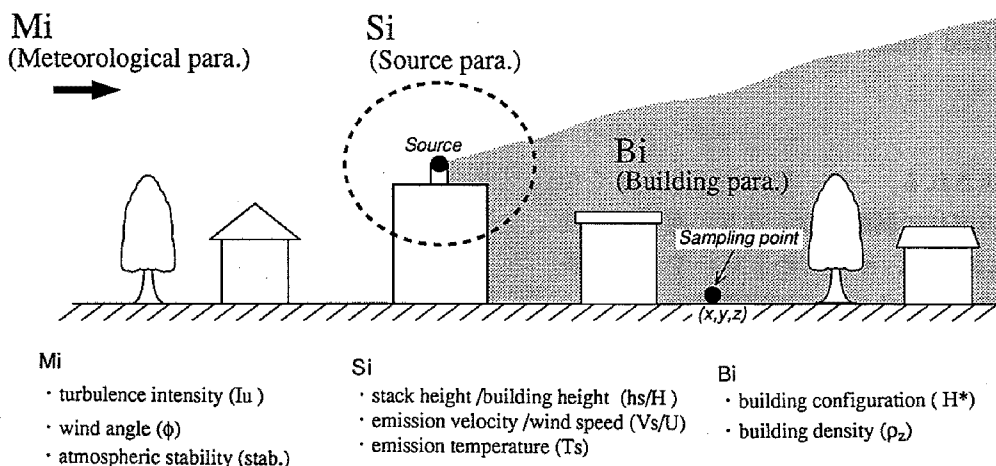


Fig. 1. Dominant diffusion parameters in built-up areas.

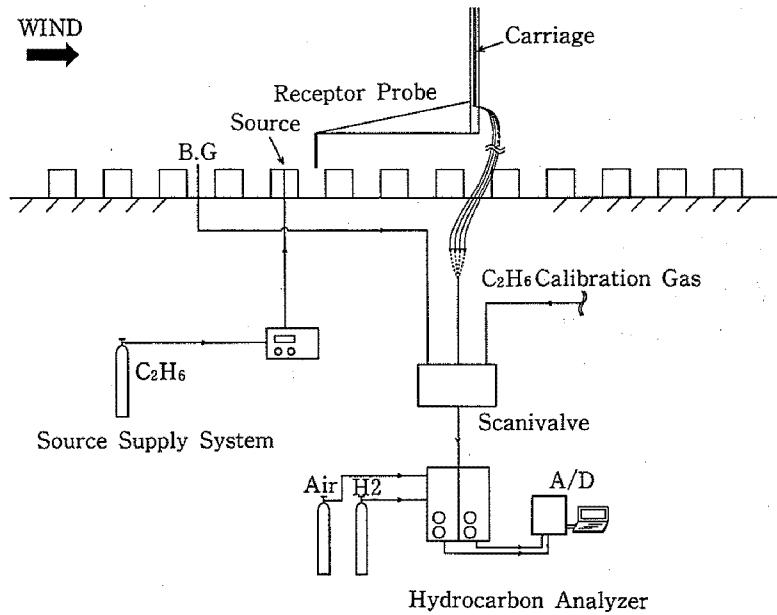


Fig. 2. Schematic of the wind tunnel experimental set-up.

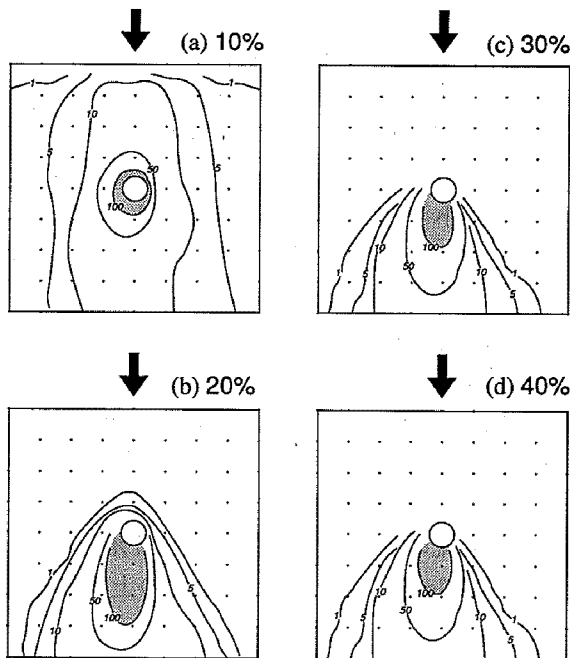


Fig. 3. Normalized concentration patterns on the roof.

レーサガスは輸送される。一方、建物密度が大きくなると、屋根面上の流れの剥離がなくなり、逆流の頻度が1%以下までに減少し、そのためトレーサガスの多くは排出源の下流側に流されそこで高濃度となる。

こうした屋根面の濃度予測は Wilson<sup>11,12)</sup> によって行われている。彼は、単体建物モデルを境界層中に設置し、排出源が屋根面上にあり排出速度比が小さな時の建物表面の最大濃度  $C_{max}$  を  $C_{max} = B_0 H^2 / x^2$  という簡易な式で表現した。ここで、 $B_0$  は実験定数を表し、

$x$  は排出源からの距離を表す。Wilsonはこの式を導くにあたり、屋根表面の煙の軸上の最大濃度を正規型の拡散式を用いて  $C_{max} = Q / \pi \sigma^2 U_{ROOF}$  と表し、煙の拡がり幅  $\sigma$  は流れ方向の速度成分の乱流強度  $I_u$  と流下距離  $x$  の積に比例する形で表した ( $\sigma = c I_u x$ )。ここで  $c$  は比例定数を表す。これらの仮定から、

$$C^*_{max} = \frac{U}{\pi U_{ROOF}} \frac{H^2}{c^2 I_u^2 x^2} = B_0 \frac{H^2}{x^2}$$

を導き、また、定数  $B_0 = 9$  を実験的に求めた。本研究では Wilson に習い、無次元化濃度  $C^*$  を (2) 式で表す。ただし、本研究では煙の拡がり幅  $\sigma$  を乱流

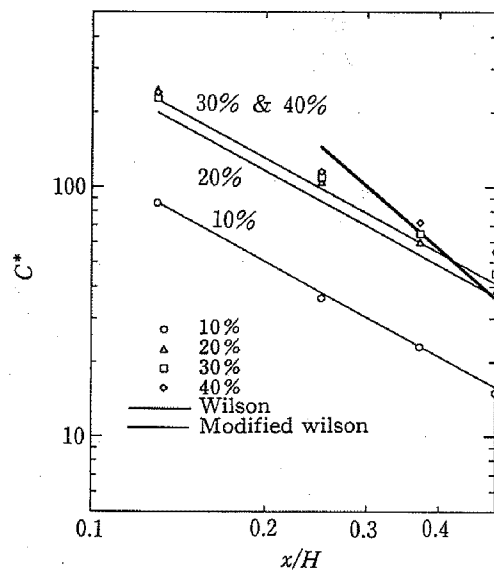


Fig. 4. Down wind change of centerline concentration on the roof.

強度  $I_u$  と流下距離  $x$  のべき関数との積に比例する形 ( $\sigma = cI_u x^m$ ) で表した。

$$C^* = \frac{U}{U_{\text{ROOF}}} \frac{H^2}{I_u^2 x^{2m}} \cdot c_r \quad (2)$$

本実験の濃度の減衰を表す指数  $m$  は、0.55~0.69 の範囲にあり、その平均値 0.63 を用い、また比例定数  $c_r (= \frac{1}{\sigma c^2})$  は実験結果から最適な値として 0.55 と定めた。式中の乱流強度  $I_u (= \sigma_u / U_{\text{ROOF}})$  と風速比

$U/U_{\text{Roof}}$  はその 1.<sup>9)</sup> の Table 2 に示した値を用いる。

Fig. 4 には、風洞実験における屋根面上の濃度 ( $y/H=0$ , 排出源の風下側濃度) と流下距離との対応を示した。図中の太実線は Wilson の式により求めた建物表面の最大濃度  $C^*_{\text{max}}$  を、細実線は修正 Wilson の式 (2) により求めた建物表面の濃度である。Wilson 式による推定値は、もともと最大値の上限値を予測しているため、各建物密度のデータに対する濃度を表す

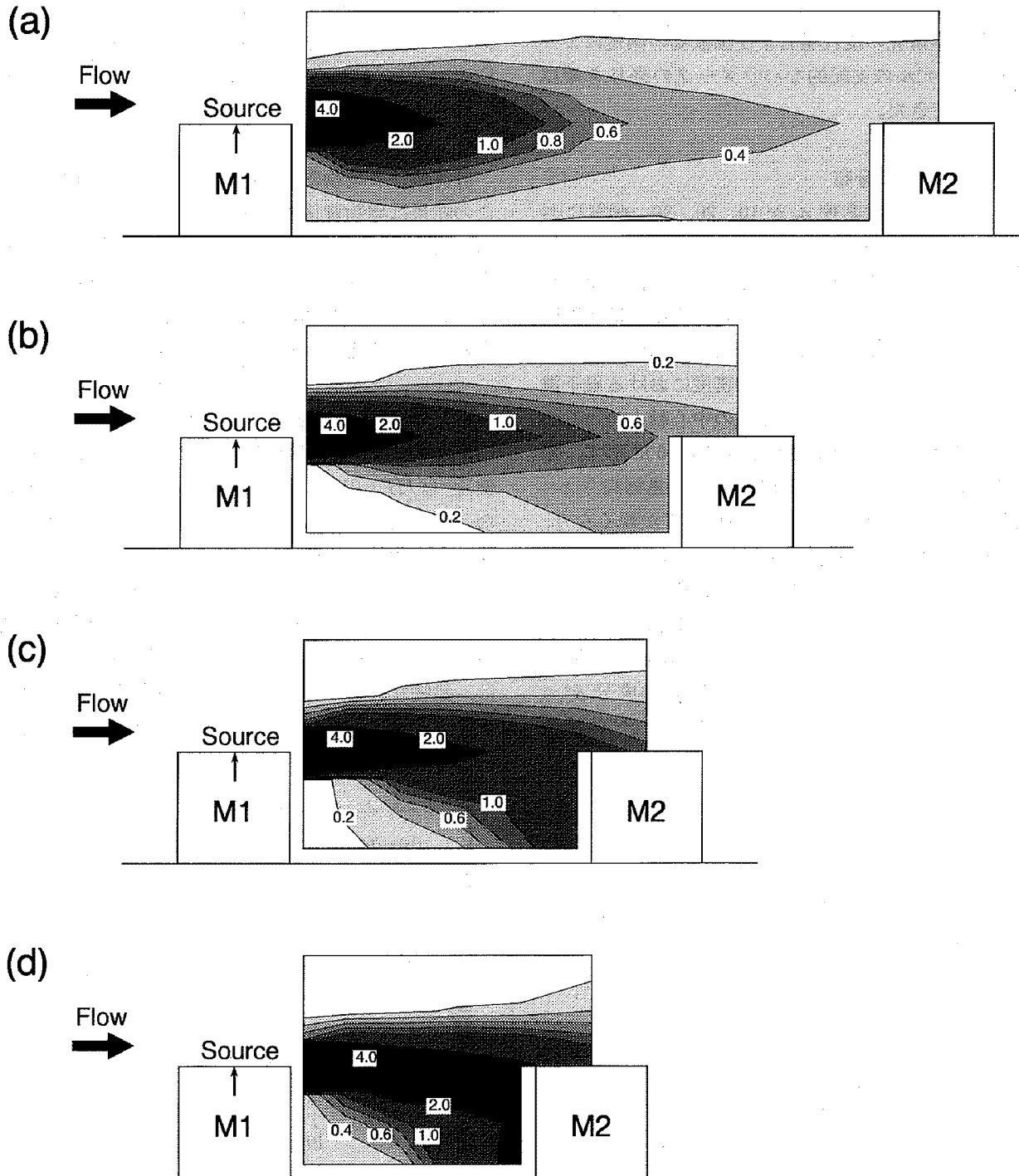


Fig. 5. Normalized concentration patterns in  $y/H=0$  plane.  
 (a)  $\rho_z=10\%$ ; (b)  $\rho_z=20\%$ ; (c)  $\rho_z=30\%$ ; (d)  $\rho_z=40\%$

ことはできない。一方、(2)式を用いて求めた屋根面濃度は実験結果と概ね一致している。このことは、屋根面上の濃度を予測する際には、屋根面のローカルな乱流強度とそこでの流れの速度を考慮する必要があることを表している。本実験の風速比  $U/U_{\text{Roof}}$  は 0.64~1.51 にあり、乱流強度  $I_u$  は 0.31~0.80 である。一方、Wilson は  $U/U_{\text{Roof}}=1.0$  および  $m=1$  と仮定し、逆算定により乱流強度  $I_u=0.19$  の場合に相当すると述べている。本研究の流れ場の測定では、屋根面の乱流強度  $I_u$  の値は、彼の算定値より大きな値となる。以上、本研究の流れ場および拡散場の測定により Wilson のモデルの支配的なパラメータの寄与を確認することができた。

### 3.2 風下濃度の分布

Fig. 5 には、建物密度  $\rho_z$  が 10, 20, 30, 40% における主流軸上 ( $y/H=0$ ) の鉛直断面濃度分布のコンターを示す。各建物密度とも建物背後の高さ  $z=H$  近傍に高濃度域が形成される。この高濃度域は建物密度が高くなると下流側建物 M2 の前面にぶつかり、更に地表面まで延びている。各建物密度における風下濃度を詳細に比較するために、流れの中心軸上のいくつかの位置での鉛直平均濃度分布を Fig. 6 に示す。建物直後の  $x/H=5/8$  (Fig. 6(a)) では、建物高さ  $z=H$  で建物密度が大きいほど濃度のピークが鋭くなり、鉛直方向の広がりも小さくなる。これは初期拡散の差異が、風下の濃度分布の性状にも影響を及ぼすことによる。同様な傾向が風下の  $x/H=1$  (Fig. 6(b)),  $x/H=1.5$  (Fig. 6(c)) にも見られる。平均濃度と同一の位置で測定した無次元化した濃度変動成分  $\sigma^* = \sqrt{c^*/2}$  の鉛直分布を Fig. 7 に示す。ここで  $c^*$  は濃度

の変動を表す。建物直後の  $x/H=5/8$  (Fig. 7(a)) では、平均濃度と同様に建物高さ  $z=H$  で建物密度が大きいほど濃度変動も大きい。更に風下の  $x/H=1$  (Fig. 7(b)),  $x/H=1.5$  (Fig. 7(c)) でも同様な傾向がみられる。

濃度ピークの流下方向の変化を調べるために建物高さにおける中心軸上の濃度 ( $y/H=0, z/H=1$ ) を Fig. 8 に示した。図中には、正規型解析モデルに都市域の拡散パラメータを適用した時の計算値を実線で示した。拡散パラメータ  $\sigma_y, \sigma_z$  は、Briggs<sup>13)</sup> のデータをべき関数で表した式を用いる (Panofsky and Dutton<sup>14)</sup>)。

$$\begin{aligned}\sigma_y &= 0.16 x(1+0.0004 x)^{-1/2} \\ \sigma_z &= 0.14 x(1+0.0003 x)^{-1/2}\end{aligned}\quad (3)$$

計算値は各建物密度での測定値に概ね一致している。この結果は建物背後のピーク濃度は都市域の拡散パラメータを用いて近似的に推定することができることを表している。計算値と測定値との差は、初期拡散および建物周辺の流れの状態が Briggs とは異なることによるものと考えている。

### 3.3 地表面の濃度

Fig. 9 には、各建物密度における立方体背後の中心軸上 ( $y/H=0$ ) の地表面濃度 ( $z=1/8 H$ ) を示した。その結果、建物密度が小さな場合 ( $\rho_z=10\%$ ) は、建物 M1 背後に高濃度域を形成する。これは単体建物の場合の濃度パターンによく似ている。異なる所は風下の建物 M2 前面に濃度の高い領域が形成される点である。一方、建物密度が大きな場合 ( $\rho_z=20\%$  以上) は、建物背後の濃度は低く、逆に建物 M2 の前面の位置に大きなピークが現れる。これは建物密度が増大す

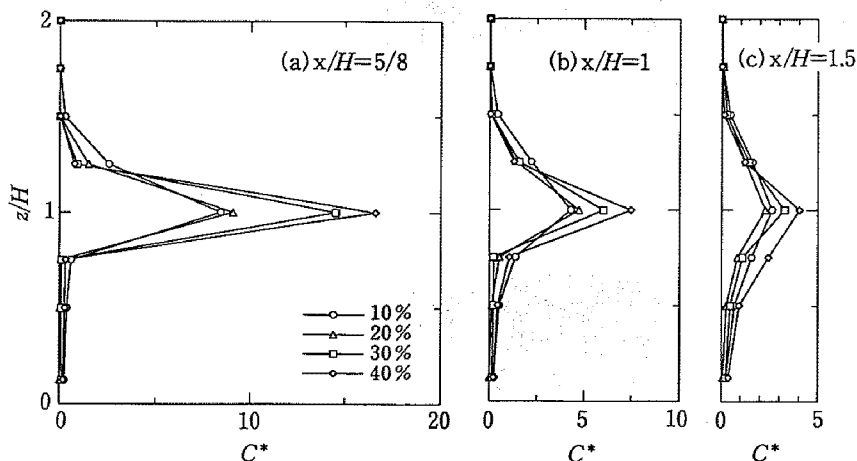


Fig. 6. Vertical profiles of averaged concentration.  
(a)  $x/H=5/8$ ; (b)  $x/H=1$ ; (c)  $x/H=1.5$

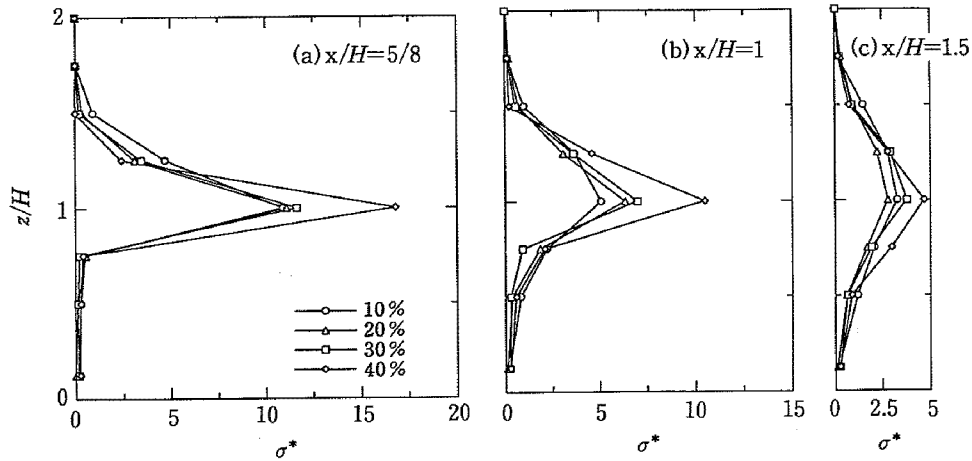


Fig. 7. Vertical profiles of standard deviation of concentration fluctuation. (a)  $x/H=5/8$ ; (b)  $x/H=1$ ; (c)  $x/H=1.5$

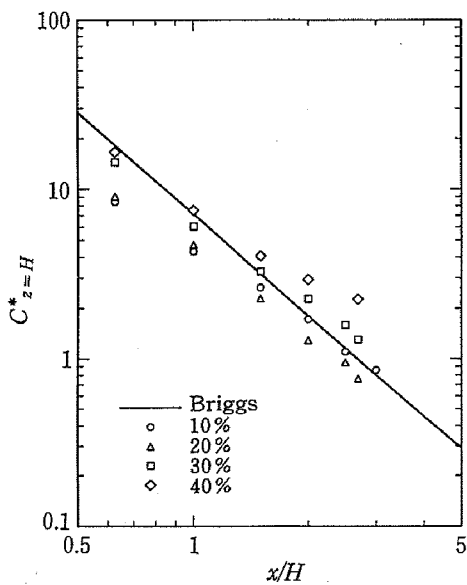


Fig. 8. Down wind change of building height level concentration on the centerline ( $z=H, y=0$ ).

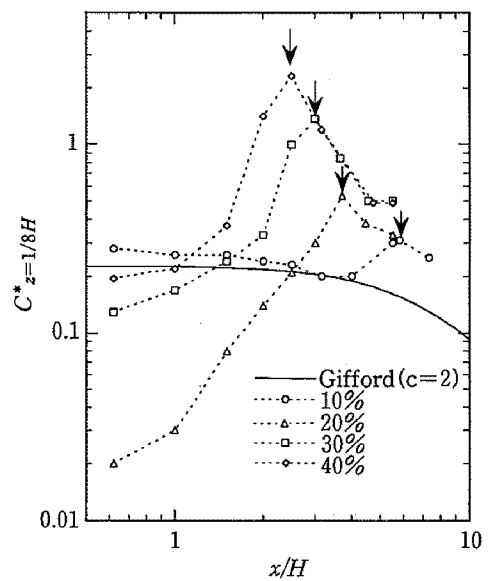


Fig. 9. Down wind distribution of ground-level concentration on the centerline ( $z=1/8 H, y=0$ ). The arrows show the peak concentrations on the ground.

るとガスが直接風下の建物 M2 の前面に輸送されることによる。建物 M2 の存在が地表面最大濃度に与える影響については後で詳しく述べる。

これまで、建物背後の地表面濃度の予測式は、単体建物を対象として多数提案されている (Gifford<sup>15,16</sup>, Huber and Synder<sup>17,18</sup>, Huber<sup>19</sup>)。いずれのモデルも建物の影響をほぼ同様に取り扱っている。すなわち、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を何らかの形で導入している。その中で Gifford のモデルがよく用いられている。Gifford の拡散パラメータは排出したガスが瞬時にある体積の中に均一に混合し、その後風下に拡散す

るボリュームソースモデルに基づいて作られており、拡散パラメータ  $\sigma_y'$ ,  $\sigma_z'$  を (4) で表した。

$$\sigma_y' = (\sigma_y^2 + c a_x / \pi)^{1/2}; \sigma_z' = (\sigma_z^2 + c a_x / \pi)^{1/2} \quad (4)$$

ここで、 $a_x$  は建物の正面投影面積を表し、 $c$  は 1/2 ~ 2 の範囲の実験定数である。本研究では  $c=2$  の値とした。図中の実線は Gifford の拡散パラメータ  $\sigma_y'$ ,  $\sigma_z'$  を用いて、正規型拡散式 ( $hs=H, z=0$ ) により求めた値を示している。建物密度 10% の時は概ね実験値に一致するが、密度が大きくなると、Gifford モデルによる予測値は実験結果とまったく異なる傾向を示す。これは、建物群内の流れパターンが Gifford の想定したものとは異なっていることによる。したがっ

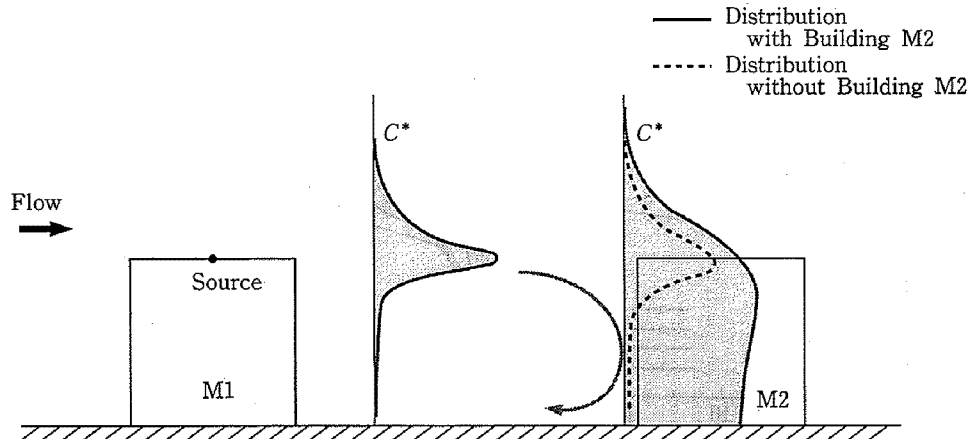


Fig. 10. Schematic of vertical profiles of concentration distributions with and without building M2.

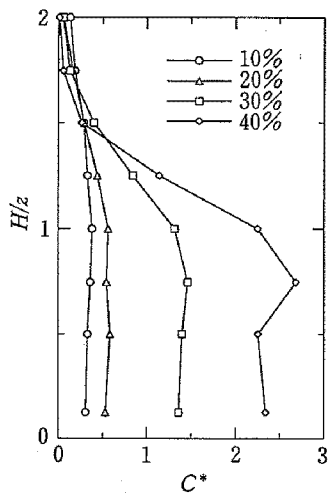


Fig. 11. Vertical concentration profiles on the up-wind face of the M2 building.

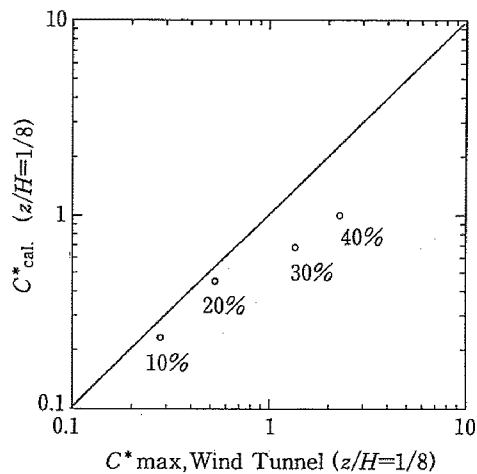


Fig. 12. Comparison of maximum concentrations on the ground measured and predicted.

て、建物群内の場合、地表面最大濃度の予測は新たに検討する必要がある。以下、濃度形成プロセスを考慮した、地表面の最大濃度  $C^*_{max}$  の予測方法を示す。

風下に建物が存在する場合は、排出されたガスは建物 M2 の前面に衝突し、その後、建物高さ前面に存在する cavity flow により地表面へ向かって輸送されさらに風上に運ばれる。Fig. 10 はトレーサガスの拡がり方を示す模式図であり、図中の実線は風下に建物 M2 が存在する時の濃度分布を示し、点線は建物 M2 が存在しない場合の濃度分布を表している。建物 M2 が存在する場合は、建物 M2 の前面の濃度分布は Fig. 11 に示す様に建物高さ以下の範囲でほぼ一様となる。したがって、地表面での濃度  $C^*_{cal. z/H=1/8}$  は、建物高さの濃度  $C^*_{cal. z/H=1}$  に等しいとする。以上の仮定を用いて求めた地表の最大濃度の計算値と実験値の比較を Fig. 12 に示す。縦軸は Briggs の都市域の拡散パラメ

ータを用いた計算値で、横軸は風洞実験における地表面の最大濃度を示す。建物密度 10%、20% の場合は、計算値が風洞実験値とほぼ一致している。建物密度 30%、40% の場合は、計算値が風洞実験値よりも低めである。この理由は、Briggs の都市域の拡散パラメータは粗度が大きい時の流れ場を想定しているのに対し、建物密度 30%、40% の場合は、流れ場が skimming flow となり、粗度の小さな流れ場に似た状態になる。そのため、建物密度が大きな 30%、40% の場合は、ガスの拡散の拡がり小さく濃度が高めに現れる。

### 5. ま と め

建物が密集した都市域の拡散現象を検討するために、風洞にて建物密度を系統的に変化させ屋根面に排出源がある場合の濃度計測を行った。その結果を以下にまとめる。



(1) 屋根面上の濃度性状は、屋根面の流れの性状に強く依存する。建物密度が小さい場合は、屋根面の逆流の発生頻度が大きくガスは排出源の上流側にも輸送されるが、建物密度が大きくなると逆流の頻度が減少しガスは直接排出源の下流側に流されそこで高濃度となる。逆流の頻度を近似的に乱れ強度で表す時、屋根面上の濃度性状は、屋根面のローカルな乱流強度の変化を考慮し修正した Wilson のモデル式で概ね予測できる。

(2) 初期拡散の差異は、風下における濃度の性状にも影響を及ぼす。建物高さにおける濃度は、建物密度が大きいほど高くなるが、Briggsによって提案された都市域の拡散パラメータを用いて近似的に推定することができる。

(3) 建物群内における地表面の最大濃度は、排出源建物の風下にある建物の前面に現れることに特徴がある。これは、風下建物の存在により、排出されたガスが風下の建物の前面に衝突し、ガスが cavity flow により地表面へ向かって輸送されることによるものである。この場合、建物前面の濃度分布はほぼ一様となり、地表面濃度は、上空の濃度によって推定できる。地表面最大濃度は、Briggs の都市域の拡散パラメータを用いることによって概ね評価することができるが、建物密度が大きな場合は過小評価の傾向にある。

(受稿 1996.7.19)

## 文 献

- 1) Georgii, H. W., Busch, E. and Weber, E.: Investigation of the Temporal and Spatial Distribution of the Emission Concentration of Carbon Monoxide in Frankfurt/Main, Report No. 11, Institute for Meteorol. and Geophysics, University of Frankfurt/Main (Translation No. 0477 N-APGA) (1967).
- 2) Johnson, W. B., Dabberdt, W. F., Ludwing, F. L. and Allen, R. J.: Field Study for Initial Evaluation of an Urban Diffusion Model for Carbon Monoxide, Comprehensive Report, Coordinating Research Council Contract CAPA-3-68 (1-69), Stanford Research Institute, California (1971).
- 3) Dabberdt, W. F., Ludwing, F. L., and Johnson, W. B.: Validation and Applications of an Urban Diffusion Model for Vehicular Emissions, *Atmos. Environ.*, **7**, 603~618 (1973).
- 4) DePail, F. T. and Sheih, C. M.: A Study of Pollutant Dispersion in an Urban Street Canyon, US-DOE Report No. ANL-ER-84-1 (1984).
- 5) Davidson, M. J., Mylne, K. R., Jones, C. D., Phillips, J. C., Perkins, R. J., Fung, J. C. H. and Hunt, J. C. R.: Plume Dispersion Through Large Groups of Obstacles-A Field Investigation, *Atmos. Environ.*, **29**, 3245~3256 (1995).
- 6) Hoydysh, W. G. and Chiu, H. H.: An experimental and theoretical Investigation of the Dispersion of Carbon Monoxide in the Urban Complex, AIAA Paper No. 71-523, Urban Technology Conference, New York (1971).
- 7) Hoydysh, W. A., Ogawa, Y. and Griffiths, R. A.: A scale Model Study of Dispersion of Pollution in Street Canyons, APCA Paper No. 74-157, 67th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Denver, CO, 9-13 June (1974).
- 8) Wedding, J. B., Lombardi, D. J. and Cermac, J. E.: A Wind Tunnel Study of Gaseous Pollutants in City Street Canyons, *J. Air Pollut. Control Ass.*, **27**, 557~566 (1977).
- 9) 孟 岩, 老川 進: 建物群内における流れと拡散に関する実験的研究—その1—流れ場の測定, *大気環境学会誌*, **32**, 136~147 (1997).
- 10) Theurer W.: Point Sources in Urban Areas: Modelling of Neutral Gas Clouds with Semi-Empirical Models, *Wind Climate in Cities*, Kluwer Academic Publishers, J. E. Cermak *et al.* (eds.), 485~502 (1995).
- 11) Wilson, D. J.: Flow Patterns over Flat Roofed Buildings and Application to Exhaust Stack Design, *ASHRAE Trans.*, **85**, 284~295 (1979).
- 12) Wilson, D. J. and Britter, R. E.: Estimates of Building Surface Concentrations from Nearby Point Sources, *Atmos. Environ.*, **16**, 2631~2646 (1982).
- 13) Briggs, G. A.: Diffusion Estimation for Small Emissions, ATDL Contribution File No. (Draft) 79, AirResources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory, NOAA, Oak Ridge, Tennessee (1973).
- 14) Panofsky, H. A. and Dutton, J. A.: *Atmospheric Turbulence*, J. Wiley, New York, pp. 397 (1984).
- 15) Gifford, F. A.: Atmospheric Dispersion Calculations Using the Generalized Gaussian Plume Model, *Nuclear Safety*, **2**, 56~59 (1960).

- 16) 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).
- 17) Huber A. H. and Snyder W. H.: Building Wake Effects on Short Stack Effluence, 3rd Symposium on Atmospheric Turbulence Diffusion and Air Quality, **12**, 2837~2848 (1976).
- 18) 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).
- 19) Huber A. H.: Wind Tunnel and Gaussian Plume Modeling of Building Wake Dispersion, *ibid.*, **25A**, 1237~1249 (1991).

## A Wind-tunnel Study of the Flow and Diffusion Within Model Urban Canopies

### Part 2. Concentration measurements

Susumu OIKAWA\* and Yan MENG\*

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

A wind tunnel study of the flow and diffusion within model urban canopies was conducted. The concentration patterns within and above canopies were investigated in the Part 2 of this study. Diffusion for four different building densities ( $\rho_z = 10 \sim 40\%$ ) was tested. Tracer gas was emitted from the rooftop at the center of a model building. For the low building density, the highest rooftop concentrations were observed upwind of the source. For the high building density, on the other hand, the highest rooftop concentrations were measured downwind of the source. These differences in the rooftop concentration patterns can be explained by the different rooftop flow patterns shown in the Part 1 of this study. The modified Wilson's equation is a better representation of the concentration of the rooftop dispersion.

At ground-level, the maximum concentration appeared windward of the downwind building. This suggests that the gas was transported to the downwind building, then impinged the downwind building, and flowed down to the ground by cavity flow. In this case, the maximum concentration can be approximately estimated by Briggs's dispersion parameter.

**Key words:** wind tunnel study, urban area, buildings, concentration pattern, dispersion