

# 道路構造による自動車排出ガスの拡散に関する実験的研究

## EXPERIMENTAL STUDY ON DIFFUSION OF EXHAUST GAS FROM VEHICLES EFFECTED BY VARIOUS TYPES OF ROAD STRUCTURE

足立義雄\*・石田 稔\*\*

By Yoshio ADACHI and Minoru ISHIDA

Diffusion of exhaust gas from vehicles is a complex phenomenon subject to the influences of traffic flow, meteorological condition and so on. In this report, the diffusion characteristics of gaseous substance by various types of road structure were investigated by using the following experimental methods—the diffusion experiment by tracer gas, the concentration measurement of exhaust gas from vehicles around the road and the model experiment in the diffusion wind tunnel. As the result of experiments, it was found that the diffusion parameter near the ground at the roadside area was approximately three times as much as that used conventionally at present. Approach of estimation method was performed, referring to comparison of the calculation results of concentration with experimental results.

### 1. ま え が き

道路は、国民が日常生活を営み、社会・経済活動を行っていくうえで必要な基本的社会資本であり、交通輸送施設としての役割のみならず、都市における街区の形成や通風、震災時における防災空間、上下水道・ガス・電気のような公益施設の収納・景観面における寄与など、きわめて多面的な機能を有している。このような道路整備がわが国で本格的に始動し始めたのは昭和29年を初年度とする第1次道路整備5か年計画以来であり、それから第9次道路整備5か年計画の今日まで、30年間にわたり着実に進展してきている。しかしながら、その反面自動車交通の急速な増大は都市の過密化やスプロール化などの原因と相まって道路環境問題を引き起こしている。道路交通が環境問題となり始めたのは昭和40年代に入ってからであり、40年代末から50年代にかけてより一層顕在化している。

道路に起因する公害としてはいろいろなものが多岐にわたって取り上げられているが、発生状況の観点からみると騒音、大気汚染、振動が8～9割を占めている<sup>1)</sup>。

ここではこのうちでも自動車からの排出ガスの拡散を取り上げて報告するものである。

自動車からの排出ガス拡散は、交通量、車種構成、速度のような交通の流れに関する要因、盛土や高架構造などの道路構造条件、ガスの排出特性で表わされる自動車それ自体に関する要因、風速・風向などの拡散に関与する要素が複雑に入り混じる現象であり、道路工学以外にも気象、自動車、化学などいろいろな分野が関係し、学際的な課題の一つである。これらの要因を個々に明確にすることは非常に興味深い、かつきわめて難しいものであり、現在のところ、十分に解明されるに至っていない。

自動車からの排出ガス拡散という目にみえない現象を定量化するための実験的手段として、①道路からトレーサーガスを放出し、その拡散分布を測定する、②沿道において自動車排出ガス成分である物質の濃度分布を測定する、③大気拡散風洞内に道路模型において人工ガス拡散実験を行う、という3つの方法が考えられる。このうち②については、これまで著者らが調査報告を行っており<sup>2)</sup>、③についても建設省土木研究所では実験研究を鋭意進めている<sup>3)</sup>ところである。①の手段による実験は、これまで関西国際空港など大規模な特定な箇所における調査で利用されているものの、種々の道路構造が拡散現

\* 正会員 建設省土木研究所道路部交通環境研究室長  
(〒305 茨城県筑波郡豊里町大字旭1)

\*\* 建設省土木研究所道路部交通環境研究室研究員

象に及ぼす影響を比較した報告例は見当たらない。

上記の3手段はそれぞれ特徴、得失を有しており、いずれが優れているということはいいがたい。本報告は①の実験結果に②、③の実験結果を加えてとりまとめることによって、道路工学的な面で重要である道路構造と拡散現象の観点から、総合的に自動車排出ガス拡散予測の問題をとらえてみたものである。自動車からの排出ガス拡散特性は複雑であるため、これら3種類の実験結果をとりまとめることによって、各実験手段の短所を補完し、あるいは結果を重ねて確認することができ、検討内容に信頼性をもたせることができると考えられる。

## 2. 実験の概要

### (1) トレーサーガス拡散実験

実験は平坦な地形とみなせる周囲に障害物のない4車線道路で、前後区間もある程度の距離にわたって同じ構造となっているような平面、盛土、高架、切土構造の道路各1か所において、一般車両通行のもとで行われた。

トレーサーガス拡散実験は、風上側路肩端の地上1mから放出されたトレーサーガスを風下側測定点において捕集分析し、その濃度を測定することからなる。本実験では2種類のガスを用いて線源、点源放出を同時に行っている。ただし、線源の場合は連続点源で代替することとし、線源の延長は風向と拡散範囲を考慮して400mとした。

トレーサーガスとしては六フッ化イオウおよびフレオン13B<sub>1</sub>を用いている。六フッ化イオウの分子量146あるいはフレオン13B<sub>1</sub>の分子量149という値は、自動車排出ガス中の大気汚染物質、たとえばNO(分子量30)やCO(同28)に比べてかなり大きく、大気中拡散時の挙動に差異が生じるのではないかと懸念も考えられるが、ガス状物質濃度がppmオーダー以下の場合には分子拡散の差異が全く無視できること、および大気中の乱流拡散が分子拡散より、少なくとも拡散係数の値で10<sup>3</sup>倍以上大きいということで問題とならないとされている<sup>4)</sup>。

濃度測定点の配置例を図-1に示す。トレーサーガス濃度測定と同時に窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)の濃度分布も測定している。

### (2) 沿道における濃度分布実測

平面、盛土、高架、切土の各道路構造の沿道計34か所において、自動車排出ガス(以下、自排ガスという)中の物質のうちNO<sub>x</sub>の拡散濃度分布測定を行ったものである。条件別の実測箇所を表-1に示す。測定点は1か所当たり10点であり、各箇所別に地表濃度(地上1.5m)の距離減衰、鉛直濃度分布などが測定されている。なお、NO<sub>x</sub>濃度については、測定対象道路を走行

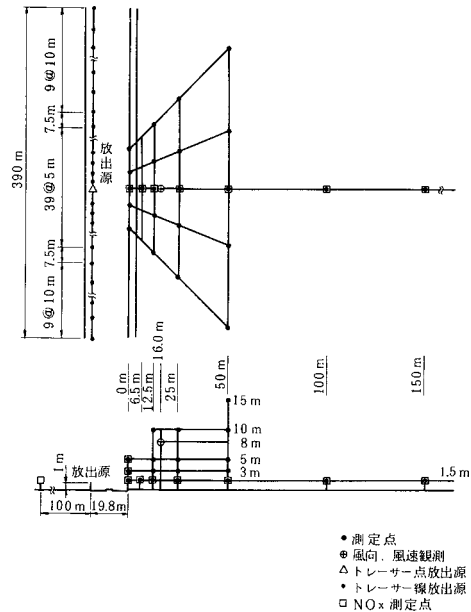


図-1 測定点配置例(平面構造道路)

表-1 条件別実測箇所数

	距離減衰	鉛直分布	特殊箇所
平面	1	3	
盛土	6	5	
切土	2	1	
高架	2	3	
建物			9
しゃ音壁			1
植樹帯			1
計	11	12	11

する自動車以外の原因による濃度が少なからず含まれている。自然界にもともとあるものや、工場等から排出されるものなど多くの要因が考えられるが、その量は特定できない。本調査では道路をはさむ風上側で、路肩の端部(以下、路端という)から十分に離れた距離(約100m)の測点における濃度を当該道路以外の原因によるバックグラウンド(以下BGとする)濃度とし、風下側各測点の濃度からこの値を差し引いて検討を行っている。

### (3) 風洞模型実験

風洞模型実験は複雑な地形や道路構造などを有する地域における大気拡散予測を行う場合に適用されることが多いが、本拡散実験は道路構造の拡散に及ぼす影響を検討するために単純な平面、盛土、高架、切土構造の道路模型を用いて行ったものである。風洞は建設省土木研究所の大気拡散風洞であり、試料ガスとしてエチレンガスが用いられている。模型縮尺は1/100であり、幾何条件、排出条件などの相似則を考慮している。

### 3. 道路構造別拡散特性

道路構造別の拡散現象を比較するには、個々のケースで異なる風速や排出量を同一条件にした濃度で比較するのがわかりやすい。そこで、測定濃度  $c$  に風速  $u$  を乗じ、排出量  $Q$  で除した基準化濃度  $c \cdot u / Q$  (単位は  $1/m$  となるが、 $10^{-6}$  または  $10^{-9}$  のオーダーであることがわかるように以下では ppm/m または ppb/m と表示する) を主として用いることとする。

一般に野外における風速は、地表面摩擦の影響で上空の風速が大きく、地表に接近するに従って小さくなる傾向がある。地表付近の風速鉛直分布 (地上 1.5~10 m) を実測した結果、べき乗則で表わすことができ<sup>5)</sup>、べき指数を推定すると地表状態別、大気安定度別に図-2 が得られた。そこで、どの高さの風速を考慮するかが問題となるが、ここでは排出後の拡散に最も影響を与えると考えられる排出源高さ付近の風速をべき乗則により推定して用いている。

また、拡散特性を把握するさらに簡便なもう一つの方法として、路端濃度  $c_0$  を基準とし、これに対する濃度比  $c/c_0$  の距離減衰による比較も有用な方法であり、場合にに応じて濃度比でとりまとめている。

線源放出によるトレーサーガス濃度分布測定結果から、基準化濃度の道路構造別距離減衰 (一定の高さにおける路端から道路直角方向への濃度変化。ただし、切土についてはのり肩測定点を路端測定点に代えている) を

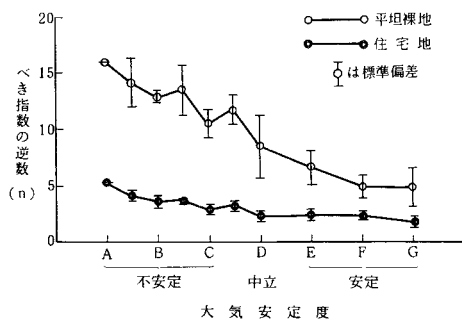


図-2 風速の鉛直分布のべき指数 (逆数  $n$ )

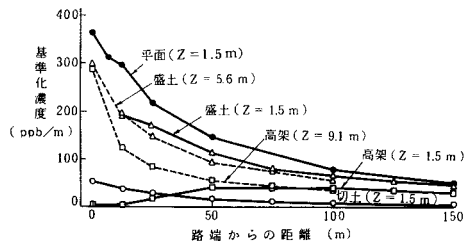


図-3 濃度距離減衰 (Z は測定点の高さを表わす)

図-3 に示す。平面、盛土、高架、切土構造の各場合について、それぞれ地表面からの高さ 1.5, 5.6, 9.1, 1.5 m, すなわち各道路構造における排出源の高さよりやや上の高さ (切土の場合を除く) の測定点における濃度距離減衰は、いずれも路端から指数関数的に減衰している。平面構造の場合では、路端から 25 m で路端濃度の約 6 割、路端から 150 m で 1~2 割程度となっている。

濃度の大きさは平面、盛土、高架の順となっている。この濃度順は地表によるトレーサーガス反射の影響の大小順、すなわち拡散中心線と地表面の距離の小さい順を表わしていると考えられる。切土の場合は極端に低濃度となっているが、切土内で初期的拡散が進行していると予測されることのほか、斜風のために切土内で放出されたガスが道路軸方向にも拡散することによると考えられる。

盛土構造の場合、地上 1.5 m における濃度距離減衰は 25 m 付近から減衰しているが、その濃度は排出源高さに近い地上 5.6 m の濃度より高い。拡散中心が盛土の面に沿う風の流れによって、排出源高さ以下の方向へ流れているといえる。このことは大気拡散風洞模型実験における気流の可視化によっても認められる。

高架の場合には、路端付近ではほとんど拡散が進んでいないために排出源から離れた地上 1.5 m における濃度は非常に小さく、路端から 70~80 m 付近まで拡散の進行とともに増加し、それ以遠から減衰している。地上 1.5 m の濃度と地上 9.1 m の濃度は、道路から離れるに従って近い値となり、路端から 70~80 m 以遠ではほぼ等しくなっている。

なお、全構造を通じて、直角風、斜風、弱風による距離減衰の差異は実験結果からあまり明確に認められなかった。

トレーサーガス実験、沿道  $NO_x$  実測、模型実験の各結果を、路端濃度を 1 とする濃度比の道路構造別距離減衰 (地上 1.5 m) として、まとめて図-4 に示す。路端からの距離減衰パターンでは平面、盛土、切土の各構造間でそれほど差がない。

図-4 では、トレーサーガスと  $NO_x$  はほぼ同様の距離減衰パターンといえる。模型実験結果では他と比べて減衰割合が小さいが、道路構造別の減衰パターンは同じとみてよい。

トレーサーガス実験による基準化濃度の道路構造別鉛直分布 (路端からある特定の距離における鉛直方向の濃度分布) を図-5 に示す。平面構造では、地表に近い点の濃度が高く、上方へ行くに従って減衰している。切土構造の場合も平面と同様の分布傾向であるが、濃度がかなり低いほか、減衰の傾きも小さい。高架構造では地表からの 9~10 m の高さ付近の濃度が高く、排出源の高

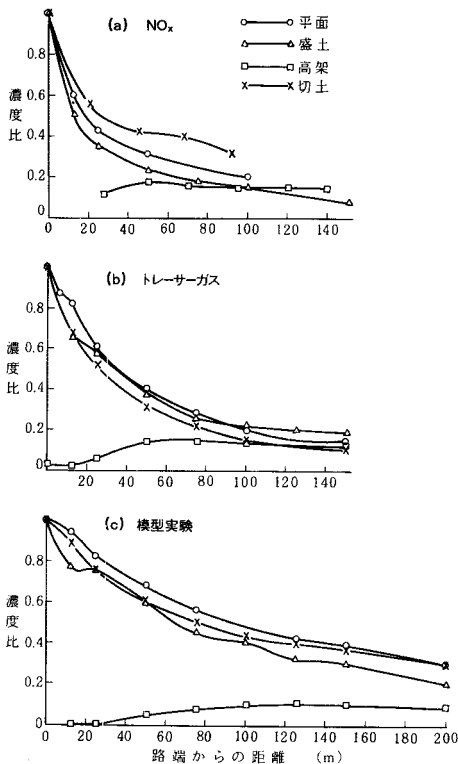


図-4 濃度比の距離減衰

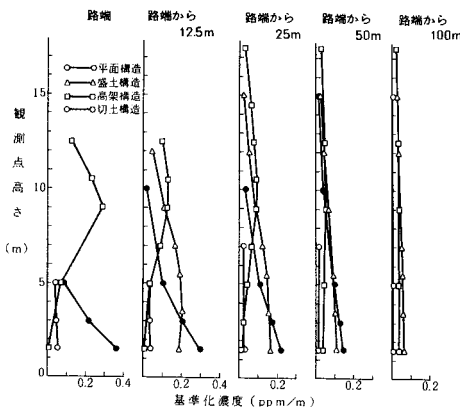


図-5 トレーサーガス基準化濃度の鉛直分布

さ(地上8.6m)付近かやや上方に拡散中心がある。盛土構造の場合は、路面が約4mの高さにあり、その高さ付近の濃度が高いが、その上方でも同程度の濃度がある。距離減衰のところでも述べたように風が盛土のり面に沿って下方へ流れるためと考えられる。

沿道 NO<sub>x</sub> 実測結果による基準化濃度(基準化の用いる排出量は実測時観測の交通量と自動車排出ガス係数<sup>8)</sup>を用いて算出している)の鉛直分布を図-6に示す。濃度値はトレーサーガス実験に比べて小さいが、鉛直分布

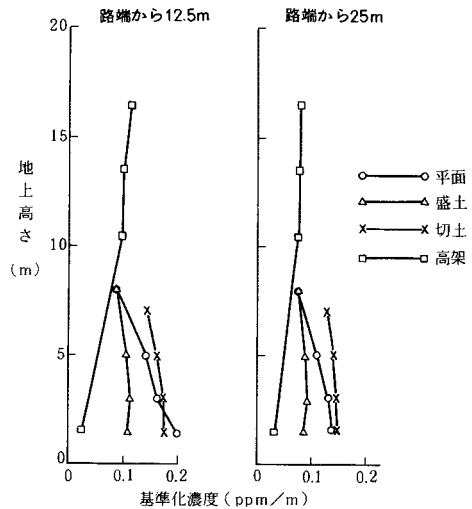


図-6 NO<sub>x</sub> 基準化濃度の鉛直分布

パターンはほぼ同様となっている。

トレーサーガス、NO<sub>x</sub>いずれの場合も、盛土を除けば、全体に鉛直濃度分布は排出源高さ付近の濃度が高く、それより上方、あるいは下方へ行くに従って減衰する形態になっている。この濃度分布の山は路端付近では高く、道路から遠ざかるにつれて低くなっている。ガス状物質が風下へ移流するにつれて鉛直方向へ拡散し、しだいに一樣な濃度に近づいていることがわかる。

この鉛直方向の濃度分布形は、風速や拡散係数が鉛直方向に一樣であれば正規分布となり、その標準偏差が正規型ブルーム式における拡散幅にあたる。風速や拡散係数に鉛直方向の変化がある場合には指数分布となる<sup>7)</sup>。野外の実現象では風速などは鉛直勾配があるが、正規型ブルーム、非正規型ブルーム JEA モデルの鉛直分布形と現地の NO<sub>x</sub> 実測による鉛直分布形の相関分析を行った結果では、正規型分布の相関が比較的良好という例がある<sup>8)</sup>。したがって、正規型の分布形でも実際の分布形を近似できると考えられる。

#### 4. 同時測定 of トレーサーガスと NO<sub>x</sub> の比較

トレーサーガス拡散実験と同時に NO<sub>x</sub> 濃度分布測定が行われている。ここでも NO<sub>x</sub> の BG 濃度を同時測定しているため、この濃度を考慮した当該道路からの自動車排出ガスによる NO<sub>x</sub> 濃度とトレーサーガス濃度の測定結果を比較する。

トレーサーガスおよび NO<sub>x</sub> の基準化濃度の距離減衰(地上1.5m)を図-7に示す。両者の基準化濃度は盛土構造ではほぼ一致しているが、他の構造ではかなり異なっているものがある。平面構造で NO<sub>x</sub> 濃度よりトレーサーガス濃度の方が高い理由として、①NO<sub>x</sub> が排出後、

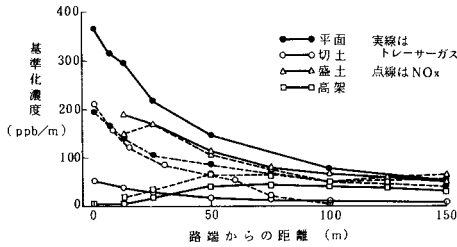


図-7 トレーサーガスと NO<sub>x</sub> の地表濃度減衰

車両後方の気流渦で拡散されるのに対して、トレーサーガスの場合には自動車が通過しない間は交通による拡散がなされないこと、②トレーサーガスが放出される風上側道路端からの拡散進行が、NO<sub>x</sub> の車道内拡散と同程度であるとは限らないこと、③NO<sub>x</sub> の含まれる排出ガス温度が高く、上昇しやすいこと、などが考えられる。

高架構造の地上ではトレーサーガス濃度が小さくなっており、平面と同様にトレーサーガスの初期拡散（排出後から車道外へ移流するまでの間の拡散）が小さいと考えられる。切土構造では NO<sub>x</sub> 濃度の方がかなり大きい、実験時は斜風が比較的多く、放出源からのトレーサーガスが切土内で道路軸方向へ流れ、切土の外にある測定点に影響する量が少なかったことによると考えられる。

トレーサーガスと NO<sub>x</sub> の路端濃度を 1 とし、これに

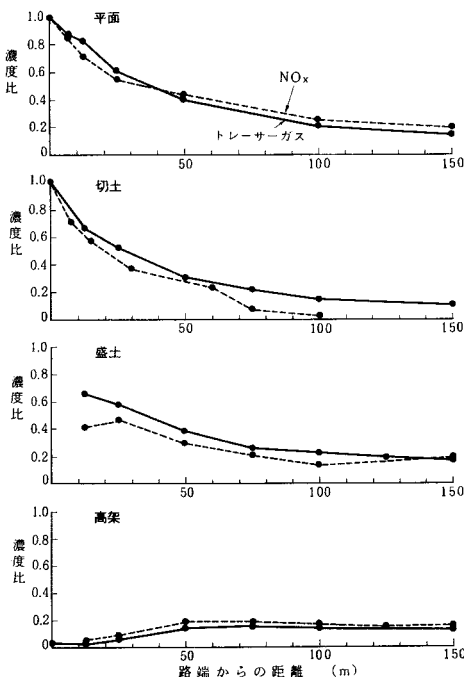


図-8 トレーサーガスと NO<sub>x</sub> の濃度比距離減衰パターン (平均)

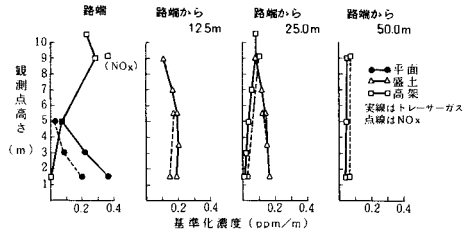


図-9 トレーサーガスと NO<sub>x</sub> の濃度鉛直分布

対する濃度比の距離減衰比較を図-8 に示す。各道路構造とも両者の濃度比の距離減衰はよく合っている。このことから、両者の排出方法の違いにより、道路内の初期拡散には若干の違いがあるものの、路端から外の拡散特性は一致しているといえる。

NO<sub>x</sub> 濃度のうち、鉛直方向の測定結果があるものについて、トレーサーガスとの標準化濃度比較を図-9 に示す。平面構造の標準化濃度には差があるが、他の構造を含めて、鉛直分布の傾向は整合しているようである。

### 5. 拡散幅

#### (1) 鉛直拡散幅

拡散計算には、正規型・非正規型ブルームモデル、パフモデル、差分モデル、ボックスモデルなどのように様々なモデルの利用が可能であると考えられるが、ここでは汎用性、計算の容易さ、適合性などを総合的に判断して、正規型のブルームを基本的に用いることとする<sup>6)</sup>。

点煙源の場合の正規型ブルーム式は次式で表わされる。

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[ \exp\left\{-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \dots (1)$$

ここに、 $c(x, y, z)$  は排出源位置の地表を原点とする点  $(x, y, z)$  における濃度、 $Q$  はガス排出量、 $\sigma_y, \sigma_z$  は水平および鉛直方向拡散幅、 $u$  は風速、 $H$  は排出源の高さを表わす。また、道路を無限線煙源とし、風向が道路に対して直角な場合の正規型ブルーム式は、式 (1) を道路軸方向に積分することにより、式 (2) のようになる。

$$c(x, z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \left[ \exp\left\{-\frac{(H-z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(H+z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \dots (2)$$

ガス濃度実測値から鉛直拡散幅  $\sigma_z$  を算出する方法はいくつか考えられる。その一つは式 (2) から直接逆算する方法で、濃度測定値 1 個につき一つの  $\sigma_z$  が算出される。しかし、この方法は排出量  $Q$  や風速  $u$  の誤差が

$\sigma_z$  の計算結果に直接影響を与えるものであり、与えた  $Q$  や  $u$  に対応した各点ごとの見掛けの  $\sigma_z$  を逆算したにすぎず、多数の測定点を有する実験で最も近似した鉛直分布と濃度を示す  $\sigma_z$  を与えるという保証はない。

次に考えられるのは、正規型ブルーム式では鉛直方向の濃度分布形が正規分布であることから、正規分布の性質を利用して  $\sigma_z$  を求める方法で、具体的方法もいくつか考えられる。たとえば、濃度最大点からある割合の濃度に減衰するまでの距離を求める方法もその一つである。しかし、現実には地表面による拡散ガスの反射があるため、排出源の高さが0であるか、または拡散ガスの地表面反射が無視できると考えられるような高さにある場合はよいが、それ以外の状態の場合には、この方法は適用しがたい。

そこで、ここでは鉛直濃度分布実測値（直角風）と地表面反射項を含む線源式の式（2）で得られる計算値を用いて、残差の平方和が最小となり最確値を与える  $\sigma_z$  を次の2種類で求めている<sup>9)</sup>。その1つは、ある鉛直分布断面の実測値を  $c_{m1}, \dots, c_{mn}$  ( $1 \sim n$  は鉛直方向の測点を表わす) とし、式（2）から得られる計算値を  $c_{c1}, \dots, c_{cn}$  としたとき、 $\sum (c_{mi} - c_{ci})^2$  が最小になるような  $\sigma_z$  を求めるものである。このときの値を  $\sigma_{za}$  とする。第2の方法は  $c_m$  と  $c_c$  の直線回帰 ( $c_m = A \cdot c_c$ ) を行った後、 $\sum (c_{mi} - A \cdot c_{ci})^2$  が最小になるような  $\sigma_z$  を求めるものである。このときの値を  $\sigma_{zb}$  とする。

$\sigma_{za}$  は実測値と計算値の値自体が全体的に最も近くなるような拡散幅であり、 $\sigma_{zb}$  は分布形が最も相似となる拡散幅であるといえる。 $Q$  や  $u$  に誤差がなければ  $\sigma_{za} = \sigma_{zb}$  となる。

$NO_x$  濃度鉛直分布実測結果から算出された  $\sigma_{za}$  を図-10に示す。 $\sigma_{zb}$  については、箇所によっては多少の大小関係があるが、平均的には  $\sigma_{zb}$  と同様の大きさである。

図中には Pasquill-Gifford が提案している鉛直拡散幅に車の走行による初期拡散幅と考えられる 1.5 m を加えて修正された値<sup>6)</sup> (以後単に P-G 図という) を同時に図示しており、それと比較すると、 $NO_x$  実測結果から算出した拡散幅は、いずれも P-G 図による中立時 (D) の拡散幅より大きく、平均的には強不安定時 (A) の拡散幅に近いといえる。

$NO_x$  実測は路端から 12.5 m, 25 m でしか測定されていないが、初期拡散幅を 1.5 m とすれば<sup>3)</sup>、平均の鉛直方向拡散幅は次式で表わされる。

$$\sigma_z = 1.5 + 0.31 x^{0.83} \dots \dots \dots (3)$$

ただし  $x$  は路端からの距離である。

線源排出のトレーサースガス拡散実験の  $\sigma_{zb}$  を道路構造別、安定度別に図-11に示す。 $\sigma_{za}$  と  $\sigma_{zb}$  は個別の対応では多少の大小関係のあるものが、全体的にみればほぼ

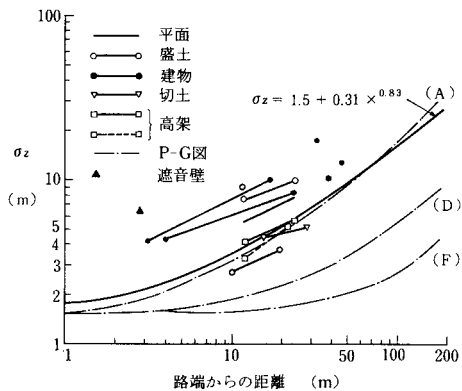


図-10  $NO_x$  実測による鉛直拡散幅  $\sigma_{za}$

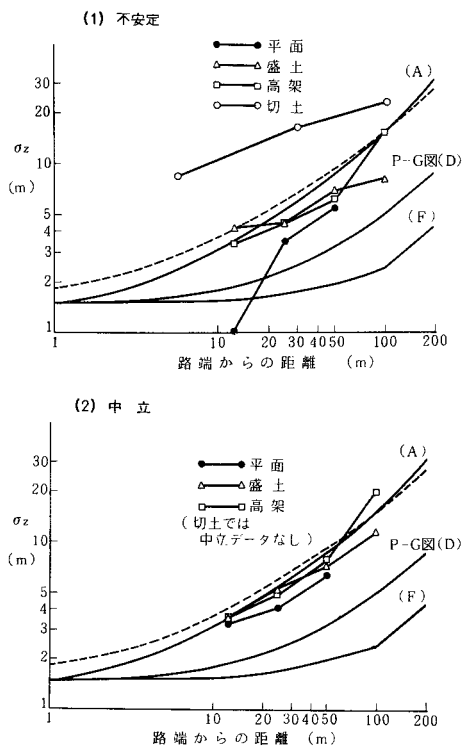


図-11 トレーサースガス鉛直拡散幅  $\sigma_{zb}$  (線源実験)

同じような値となっている。道路構造別では、 $\sigma_{za}$  は平面、盛土に比べて高架の場合が大きく、切土の場合はさらに大きい。 $\sigma_{zb}$  は盛土、高架が平面の場合に比べてやや大きく、切土はさらに大きい。全体的には平面、盛土、高架、切土の順に  $\sigma_z$  が大きくなる傾向にあるが、切土に比べればそれ以外の構造における  $\sigma_z$  はあまり差がないといえる。

大気安定度分類については、パスキルの安定度分類(日本式に修正)<sup>10)</sup>による A~C を不安定、D を中立とした。ただし、E、F は測定時に生じていない。大気安定度別

の  $\sigma_z$  については中立時の  $\sigma_z$  が不安定時の  $\sigma_z$  よりむしろ大きいこともあって、安定度による差は認められない。なお、沿道  $\text{NO}_x$  実測結果から、自排ガス濃度の大気安定度別および昼夜別の有意差 ( $t$  検定) を行った結果でも、有風時の濃度には安定度別、昼夜別のいずれにも有意差があることは判定されなかった。

図中の点線は、 $\text{NO}_x$  濃度鉛直分布実測により、算出された拡散幅式 (3) の線を表す。トレーサースガス実験から求められた  $\sigma_z$  は、これよりやや小さいが、かなり近い値となっている。トレーサースガス実験による  $\sigma_z$  が図中の点線より多少小さいのは、4. で述べた理由によるものと考えられる。

平坦地域の点源から放出されたトレーサースガスの鉛直濃度測定結果から、前記と同様の方法で算出された  $\sigma_{zb}$  を図-12 に示す。走行車両による初期拡散幅の全くない場合には、両対数紙上で直線とみなせるようであり、べき乗関数で表わすことができるといえる。安定度の別ではここでも安定度による明確な有意差がない。直線の傾きは P-G 図の傾きにほぼ一致しているが、切片を決める係数が安定度 D の場合、P-G 図 (D) の 3 倍程度の大きさである。これに初期拡散幅と考えられる 1.5 m を加えると、図-11 中の点線にほぼ近くなる。

(2) 水平拡散幅

線源排出拡散実験結果から、水平方向拡散幅  $\sigma_y$  を算出するのは困難なため、平面道路および平坦地で行われたトレーサースガス点源排出実験結果から  $\sigma_y$  を推定する。点源からのトレーサースガス濃度の  $y$  軸方向分布実測結果は、図-13 に一例を示すように正規分布となり、前記の  $\sigma_z$  を求める方法と同様にして  $\sigma_y$  を算出することができる。ここでは

$$c(y) = \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \dots \dots \dots (4)$$

の計算値  $c_c$  と実測値  $c_m$  の回帰直線の傾きを  $A$  とし、 $\sum (c_{mi} - A \cdot c_{ci})^2$  が最小となるような  $\sigma_y$  を求めた。

なお、図-13 の例では道路からの距離が遠くなるに従って濃度最大位置 (拡散中心軸) が測点配置の中心から少しずつずれており、風向が道路直角軸に対して数度ずれていることがわかる。風向がさらに大きくずれて、拡散中心軸が配置された測点上に求まらないようなデータは検討対象から外している。

平面道路および平坦地の推定  $\sigma_y$  を安定度別 (平面道路ではすべて C~C-D であった) に図-14 に示す。安定度別ではここでも明確な差があるとはいえない。走行車両による初期拡散のない平坦地の  $\sigma_y$  は、平均すると  $\sigma_z$  の場合と同様に、両対数紙上で直線とみなせるようである。平均の  $\sigma_y$  をべき乗関数で表わすと  $\sigma_y = 0.46 x^{0.81}$  となる。これは P-G 図の安定時 (D) の  $\sigma_y$  の約 3

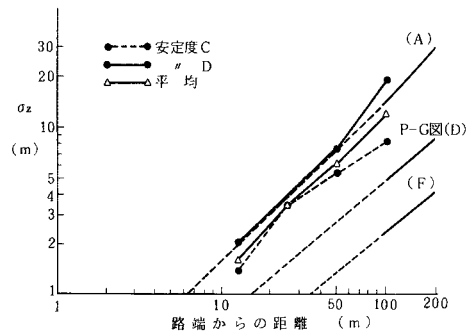


図-12 トレーサースガス鉛直拡散幅  $\sigma_z$  (平坦地点源実験)

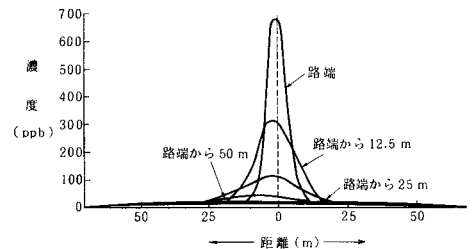


図-13 トレーサースガス水平方向濃度分布例

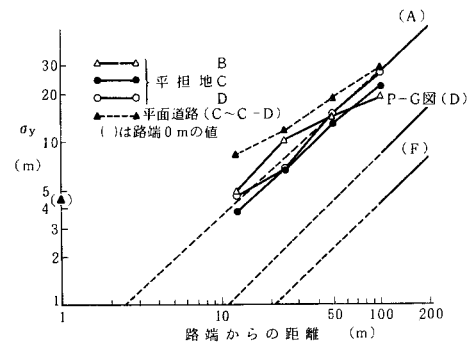


図-14 トレーサースガス水平方向拡散幅  $\sigma_y$

倍に相当している。

また、平面道路の風下路端における  $\sigma_y$  ( $\sigma_{y0}$ : 初期拡散幅) は約 5 m 程度であり、この場合では初期拡散幅は車道幅員の 1/4 程度となっている。平面道路では交通量が少なくトレーサースガスの初期拡散は小さくなっているが、自動車から排出されるガスの場合はもう少し大きな初期拡散幅になると考えられる。

なお、平面道路の  $\sigma_y$  から  $\sigma_{y0}$  を減じてみると、平坦地の  $\sigma_y$  回帰式  $\sigma_y = 0.46 x^{0.81}$  にほぼ一致しており、初期拡散幅  $\sigma_{y0}$  を除く路端以遠の拡散が平坦地における拡散と同様であると考えられることを示している。

6. 計算モデルと実測値の比較

既述のように本報告では、拡散計算式として式 (1)

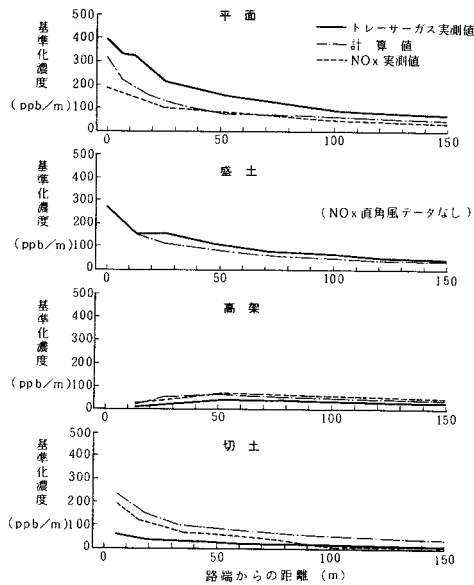


図-15 実測値と計算値の比較 (距離減衰)

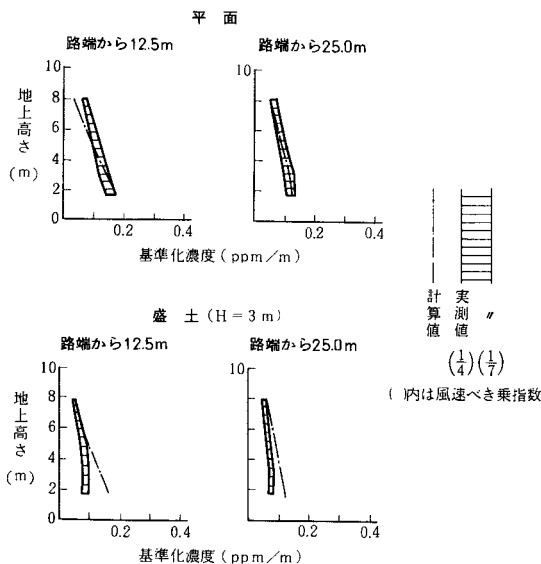


図-16 実測値と計算値の比較 (鉛直分布)

を基本としている。ここでは4.で示したトレーサーガスおよびそれと同時に測定を行ったNO<sub>x</sub>の実測値(直角風時のもの)を利用してこのモデルによる計算値と比較してみた。計算上の排出源は道路中心線に連続点源を配置することとし、高さに関しては3.の拡散特性を考慮して、平面、高架では路面高+1m、切土では地面上、盛土では(路面高+1)/2mとした。また、計算に用いた拡散幅は大気安定度によらず、図-10の $\sigma_z=1.5+0.31x^{0.83}$ によっている。

地表(高さ1.5m)濃度の路離減衰について、実測値と計算値の比較を図-15に示す。平面道路での計算値とトレーサーガスの実測値とは若干差が認められるが、NO<sub>x</sub>実測値と計算値は路端付近を除けばかなりよく整合している。トレーサーガス濃度が大きいことについては4.で考察したとおりである。

盛土、高架構造の計算値とトレーサーガス実測値については多少の違いはあるが、計算上の排出条件とトレーサーガスの排出条件が異なることを勘案すれば、ほぼ整合しているといえよう。高架構造の計算値はNO<sub>x</sub>の実測値に近い値となっている。

切土での計算値はトレーサーガス、NO<sub>x</sub>濃度のいずれよりも大きい。切土での計算は仮想排出源を地表面と同じレベルにおき、あとは平面などと同様に行われている。実現象では、切土内での初期拡散が平面道路などに比べて進行していると考えられるが、これを考慮していないので、計算上の地表濃度が過大評価となるのはやむを得ない。切土についての計算方法の改善を行うとすれば、初期拡散幅を大きくすることが考えられる。

沿道におけるNO<sub>x</sub>鉛直分布実測箇所のうち、平面、盛土の一例ずつについて実測値と計算値の比較を図-16に示す。図-15の場合と同様にNO<sub>x</sub>実測値と計算値の対応はよいようである。

## 7. 考 察

以上の点を取りまとめると次のようになる。

### (1) 各実験の特性

沿道地域における大気拡散は気象や地形の影響を複雑に受ける現象である。また、汚染物質測定上も多少の誤差を生ずるために、測定ケースごとに濃度の大小などのばらつきがある。

自動車排出ガスの大気拡散性状を把握する手段としては、実走行の自動車から排出され、拡散された物質(たとえばNO<sub>x</sub>)を実測する方法が初期拡散やその後の拡散特性などに実現象そのものを与えるため、最も基本的な手段といえる。しかし、この方法では水平方向の拡散解析が困難であることのほか、排出量の推定把握、BG濃度などに難しい面がある。

トレーサーガス実験および風洞模型実験が濃度実測に比べて有利である点は、①排出量の明確さ、②バックグラウンド濃度がない、③排出位置、点源、線源の別を自由に設定できる、④測定精度のよい物質を選べるという点である。①、②の点では測定、解析上の誤差が少なく、得られた拡散特性は実現象を明確に近似させていると考えられる。特に水平方向の拡散状況の把握にあたっては、有効な調査手法である。

一方、トレーサーガス、風洞内模型の排出源は静置さ



れているため、放出後、自動車の排気管から排出されるガスと同様の初期拡散がなされないという問題がある。トレーサーガスの場合では、自動車を走行させて車両後方からガスを排出させることも考えられるが、実現は相当困難であろう。本報告中の実験では、風上側車道端に放出源を置き、一般走行車両による攪拌を期待しているが、それでも必ずしも自動車排出ガスと同じ初期拡散となるとはいえないことは、トレーサーガスと $\text{NO}_x$ の濃度分布の比較によってわかる。しかし、初期拡散の点を除けば、それ以後の拡散は $\text{NO}_x$ とトレーサーガスの濃度比の距離減衰が同じ傾向を示していることからみて、ほぼ同様の拡散性状であるといえる。

なお、風洞模型実験の特性としては、風洞内の気流の乱れを大気中における乱れと完全な相似にすることが難しいと考えられるが、気象条件に左右されない定常的な状態の実験が行えるため、道路構造別の拡散特性や建物、地形の影響の比較などが容易であるといえる。

## (2) 道路構造別拡散

道路構造別の地上1.5 mにおける濃度距離減衰は、平面、切土では路端から指数関数的に減衰し、盛土の場合も平面の傾向に近い。高架では路端付近が0に近く、70~80 mまで増加するが、それ以後で減衰する。また、鉛直濃度分布をみると、最大濃度の高さは平面で排出源高さ、高架で排出源高さよりやや上方、盛土ではやや下方、切土では地表面付近となっている。これらの濃度分布から、計算上の排出源は平面、高架では路面+1 m、切土では地表面、盛土では排出源と地表面の中間付近の高さに置けると判断できる。道路構造別の拡散幅は切土内初期拡散を除いては特に差はないと考えられる。

## (3) 拡散幅

トレーサーガス実験結果から拡散幅を推定したが、鉛直方向、水平方向のいずれもP-G図の(D)より大きく、(A)に近い。この結果は沿道における $\text{NO}_x$ 実測データから算出された拡散幅と同様の傾向にある。従来のP-G図は地表面粗度の小さい場所のものと考えられ、一般的な道路周辺の大気拡散を検討する場合にはこれより大きな拡散幅を用いる必要があると考えられる。

また、道路周辺の実験結果をみる限りでは、大気安定度別に拡散幅には差が認められなかったため、ここでは平均的な一つの拡散幅で代表させて与えている。年間最

大出現頻度となる大気安定度は24時間帯すべてにおいて中立(D)である気象観測例もあり、安定度別の拡散幅は実用上あまり意味を有さないと判断できる。

本文においては、ガス状物質の拡散特性を道路構造別に取り上げて検討しており、いくつかの結論が得られて予測に活用でき得るものと考えられる。しかしながら、まえがきにもふれたように、自動車からの排出ガス拡散は複雑な現象で、多くの要因が関与している。今後もこれらの要因がより具体的に解明されて、より合理的で普遍的な予測方法が確立され、道路環境問題の解決に寄与することを大いに期待するものである。

最後に、本報告内容の一部は建設省総合技術開発プロジェクト「沿道地域の居住環境整備に関する総合技術の開発」の大気汚染研究部会(市原 薫部会長)においてご指導いただいたものであり、ここに委員・幹事の各位に深く感謝する次第である。

## 参考文献

- 1) 建設省：昭和53年国土建設の現況、昭和53年7月。
- 2) 建設省道路局企画課・土木研究所：沿道地域における大気汚染予測手法に関する研究、第35回建設省技術研究会報告、昭和57年10月。
- 3) 建設省土木研究所・国土開発技術研究センター：建設省総合技術開発プロジェクト自動車排出ガスの拡散予測手法に関する研究報告書、昭和58年2月。
- 4) 渡辺益造：排煙の選別測定(ガストレーサー法)、計測と技術、Vol.9, No.12, 昭和45年12月。
- 5) 土木学会・本州四国連絡橋技術調査委員会：本州四国連絡橋技術調査報告書、付属資料1、耐風設計指針(1967)および同解説、昭和42年7月。
- 6) 足立義雄・川島茂樹：道路沿道における大気汚染濃度の予測について、第7回環境問題シンポジウム講演論文集、土木学会環境問題小委員会、1979-8。
- 7) 笠口展宏・岡本汎貴・井手靖雄：自動車排出ガスの拡散予測(2報)、三菱重工技報、Vol.16, No.4, 1979-7。
- 8) 土木研究所ほか、大気汚染に関する調査研究報告書、昭和56年1月。
- 9) 本間 仁・春日屋伸昌：次元解析・最小2乗法と実験式、応用数学講座、第5巻、コロナ社、昭和39年。
- 10) 原子力気象調査会：東海村の煙突から出る廃棄物の拡散に関する調査、1959。

(1984.3.15・受付)