

武蔵工業大学 正会員 川浦 潔
武蔵工業大学 学生会員 ○中津留 源也

1. まえがき

わが国は戦後経済の急速な高度成長とともに自動車交通の増加による道路周辺部を中心とした住環境、自然環境に与える影響が重要な社会問題となってきた。このような情勢に伴い、高速道路計画などを立案する際には色々な公害がおよぼす影響について、事前に評価や予測を行う方法を確立することが緊急の課題である。特に大気汚染については、未だその解析方法や推定方法を理論的あるいは実験的な点で確立するには、多くの問題点があると言わざるを得ない。本研究で取り扱っているトンネル坑口部排出ガス拡散の問題も緒についたばかりであるため現象的にも理論的にもほとんど解明されていないのが実情である。そこでトンネル坑口拡散の解析法としてサットン、パスキル(そのほかにも種々の方法があるけれども今回はよく使われているものだけを取り上げた)のプリュームモデルを援用する方法が広く用いられているけれども実際の程度信頼性がおけるかを実測値と予測値とで比較検討し今後の問題点を提起する。

2. 本研究の概要

本方法は、フィックの拡散方程式に色々な制約条件を与えて導き出されるプリュームモデルにサットンとパスキルのそれぞれの拡散幅を用いて濃度計算を行ない、実測値とそれぞれの予測値を比較して適合性の良いモデルを選ぶ。そこで選んだモデルの予測値と実測値の精度を確認し、つぎに道路直線方向、道路に対して直角方向、道路に対して鉛直方向それぞれに対して適当なメッシュで切り、それぞれの地点に対して予測値を計算し、断面図すなわち $y-z$ 軸に関する平面図と $x-y$ 軸に関する平面図を描いて予測値について考察する。

3. モデル式について

本来、煙の拡散状況を現わす濃度分布はフィックの拡散方程式に適当な制約条件を考え、その条件に基づいてモデル式を作成しなければならない。そこでフィックの拡散方程式は次のような式で示される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (1)$$

$C(x, y, z)$: 汚染物質の濃度 $V(u, v, w)$: 風速 V の x, y, z 方向の風速分布

$D(D_x, D_y, D_z)$: x, y, z 方向の拡散係数

(1)式においてある条件を考える。今、ある方向への拡散物質媒体流体の移流がある場合は移流による物質の移送が大きいため、その方向の拡散項を省略することができる。そこで x 方向のみに流れるすなわち今回の場合トンネル坑口からの坑風があり、横の y 方向及び上下の z 方向には狭義の拡散のみで拡がる点状連続源に対する拡散方程式をある条件下で変数分離法で解く。つぎに、得られた式は $y-z$ 面において濃度分布が正規分布に従うのでそれぞれの方向の分散を σ_y^2 , σ_z^2 とすると拡散係数 D_y , D_z と σ_y^2 , σ_z^2 の関係は $\sigma_y^2 = u / 2x D_y$, $\sigma_z^2 = u / 2x D_z$ となり、また地面による排出ガスの反射、自動車から排出されるガスの有効高さを考慮すると(1)式はつぎのようにかかれる。

$$C(x, y, z; \text{He}) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{z - \text{He}}{\sigma_z}\right)^2\right\} + \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{z + \text{He}}{\sigma_z}\right)^2\right\} \right\} \quad (2)$$

Q : 自動車排出ガス量 He : 自動車排出ガスの有効高さ
 u : トンネル坑口からの坑風

4. 拡散幅について

大気安定度は実測条件からサットンの場合は「弱い」逆減または中立、パスキルの場合は「中立」を用いた。但しサットンの場合は拡散幅を推定する式をそのまま用いたけれども、パスキルの場合は1度推定図から読み取った値を回帰式に直して用いた。そこで「中立」の場合のパスキルの拡散幅の式はつぎのように表わせた。

$$\sigma_y = -0.33 \times 10^{-4} x^2 + 0.081x + 0.172 \quad (t = 0.999)$$

$$\sigma_z = 0.035x + 1.43 \quad (t = 0.999) \quad x: \text{トンネル坑口から道路直線方向の距離 (m)}$$

5. 自動車排出ガス量の決定

自動車排出ガス量の決定方法は非常に厄介な問題である。というのは自動車のエンジンの種類、排気量の大きさ、年型、走行モードなどによって変化し、また一般道路を扱うか本研究のようにトンネル坑口を扱うかによって異なるからである。そこで本研究では簡略化するため自動車の種類は大型車（ディーゼル車）、小型車（ガソリン車）に分け、走行モードは定速とした。またトンネル坑口から排出されるガスの濃度は過去の実験結果などから近似的に指数分布 $y = y_0 e^{-\alpha x}$ に従うと考えます。そこでこれを用いて y_0 に実測濃度比（%）、 x に濃度遞減距離として指数回帰により y_0 と α を決定し、その式からトンネル坑口距離遞減区間を各メッシュごとに排出量を定め、この値に単路部排出量を加えた量を排出ガス量と決定した。

6. トンネル坑口部における坑風の決定

トンネルは水理という管路と考えるとトンネル内の風速はトンネルの換気力として気象条件によるものと交通による換気力とが考えられる時のベルヌーイの方程式に従う。そこで、その式はつぎのように表わされる。

$$\left(1 + f_e + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{\rho}{2} u_t^2 = N \cdot n_c \cdot \frac{A_c}{A_t} \cdot \frac{1}{2} \rho (V - u_t)^2 + \left(1 + f_e + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{\rho}{2} u_g^2$$

7. 計算結果

計算に用いた条件はトンネル延長2042m、交通量622台/30分（大型車140台/30分、小型車482台/30分）平均風速8m/秒、メッシュ間隔はトンネル坑口から道路直線方向に対して10m、道路に対して直角方向に5m、道路に対して鉛直方向に1m、2m、5mとした。以上の条件で計算した結果実測値に比較的適合性のあったのはパスキルであった。従ってパスキルの拡散幅による予測値を用いて断面図すなわちy-z軸に対する平面図とx-y軸に対する平面図を描いた。

8. 考察

パスキルの拡散幅による値が実測値に適合した理由としてパスキルは地上煙源からの拡散実験結果から求めたのに対し、サットンは比較的高い煙源から求めたためであると考えられる。また実測値と予測値を図Ⅰ-1, 2, 3と図Ⅱから比較すると坑口から離れた地点に比べて坑口付近特に道路直線方向に対して水平、鉛直方向に離れるにつれて適合性が悪くなっている。従って本研究結果の結論はトンネル坑口部のような比較的排出源の至近部を予測対象とする場合にサットン、パスキルのプリュームモデルを用いるのはやや妥当性に欠ける場合がある。というのは第一にこれらのモデルは定常状態で完全流体であるというかなり非現実的な一種の理想的な気体を前提としていること。第2にこれらのモデルでは明り部において横風の影響を受ける拡散については理論的にうまく対処しきれないとか地形や周りの構造物を拡散場に影響する要因として組み入れることが難しいということが考えられる。ゆえに今後はこれらのことを考慮する必要がある。

