

トンネル坑口からの自動車排気ガスの拡散モデル

大阪大学 工学部

(株) 修成建設コンサルタント

同 上

正員 村岡浩南

那須範生

正員 〇北田勝章

1 はじめに 近年、自動車交通量の増加に伴い、排気ガス等により人の健康や生活環境が及びやかされつゝある。そこで、道路計画や交通計画を立てるに当り、あらかじめそれらの予測や評価を行なうことは重要である。ところで、排気ガスについては、その拡散におよぼす要因の複雑さ、不確定さから、まだ十分に解明されているとは言えない。特に、一方通行のトンネル坑口付近には、自動車の交通に伴う一定方向の風の流れが、自然現象による風の流れに加えて存在していると考えられ、問題を一層複雑にしている。そこで、トンネル坑口での吹出(あるいは吸込)風速を考慮した風速分布モデルを開発した。自動車排出ガスの排出モデルについては、すでに確立されているものとして、機械学会モデル(Ap45)¹⁾や、ポテンシャル流を仮定したものとして、自動車研究所²⁾のものがあるが、ここに紹介するモデルの特徴は、トンネル坑口付近における吹出風速まで含めて、ポテンシャル流の場で拡散解析を行なった点である。以下順を追ってこのモデルの概略を示す。なお実際の計算例は講演日当日に報告する。

2 全体の構成 モデルの構成としてフローチャートを図-1に示す。

3 風速分布モデル 対象とする拡散領域の場の流れを、渦なしの完全流体であると仮定すると、各風速分布 u 、 v 、 w はあるスカラー量 ψ の gradient として導かれる。すなわち

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (\psi: \text{速度ポテンシャル})$$

次に非圧縮性流体という仮定のもとでは、連続の方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0$$

これは楕円型の差分方程式として適当な境界条件のもとでimplicit schemeとして数値解析ができる。

4 境界条件 (1) 地表面、および建物などの障害物の表面では、その面に垂直な速度成分は0であるから、次式が成立する。

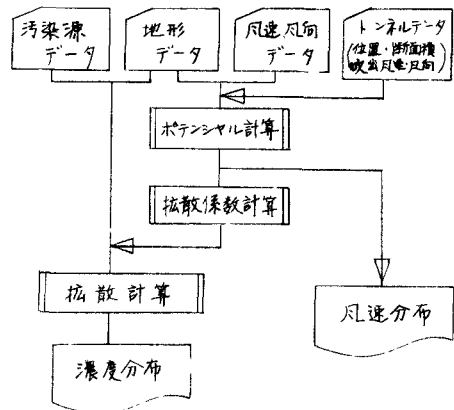
$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = 0 \quad (n: \text{障害物法線方向})$$

(2) トンネルの坑口や排気塔の吹出口では、一定の吹出風速 U_T が常に存在していると仮定し、その吹出方向の速度成分を一定にする。すなわち

$$\frac{\partial \psi}{\partial n_T} = U_T \quad (n_T: \text{トンネル吹出方向})$$

(3) 計算領域の境界においては、ポテンシャルの値を固定する。均一な速度場の速

図-1 モデルの構成



度ポテンシャルは、次式で表わされる。

$$\Phi_0 = u_0 x + v_0 y \quad (u_0, v_0 : x \text{ および } y \text{ 方向に測定された風速})$$

さらに、拡散領域全体の連続の条件を満足させるため、トンネル坑口からの吹出風によるポテンシャルの増加分を加算する。すなわち

$$\Phi = \Phi_0 + v_T n_T$$

5 拡算計算モデル 拡散の基礎方程式を次式で示す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + Q$$

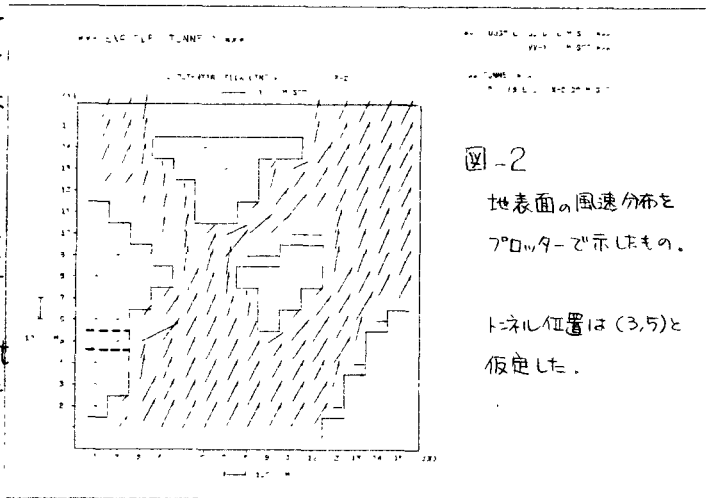
これを変形し、放物線型の差分方程式として、explicitな方法で拡散シミュレーションを行なう。Q(汚染物質の発生量)が時間的に変化しなければ、解はある定常解に収束する。なお、境界条件は、計算領域の境界および建物、地表面、いづれにおいても法線方向の濃度勾配は0であるとして、次式を仮定した。

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad (n: \text{境界面法線方向})$$

又、拡散係数は、地表面付近の粗さにより決定される摩擦速度と風速より次式を仮定した

$$D = \kappa (u_*') \left(\frac{u}{u_*'} \right)^{0.9} z \quad \begin{array}{l} \text{ここに } \kappa \text{ : カルマン定数 (1/2.44)} \\ u_*' (u_*') : \text{実測による風速と摩擦速度} \\ \text{この場合 } u_*' = 5.0 \text{ m/sec, } (u_*') = 0.7 \text{ m/sec と仮定した} \\ z : \text{高さ} \end{array}$$

6 おわりに 本モデルでは風の流れをトンネル坑口からの吹出流れも含めて、渦なしの完全流体と仮定した。したがって、境界層領域、すなわち建物近傍や、吹出流にともなうまわりの風の巻き込み現象は表現し得ない。しかしながら、それらの現象のスケールが地形やトンネル吹出流れのスケールに較べて小さいと仮定できる範囲において、このモデルは十分有効であると思われる。なお、今後の問題として、特にトンネル坑口付近では風速分布に大きな変化点が生じ、差分方程式の解が発散しやすい。従って解の安定性を高める意味でimplicit schemeで解く方法など、境界条件の与え方も含めて検討を続けていく必要があると思われる。



- 参考文献 1) 日本機械学会「自動車排ガスによる大気汚染に関する研究」 1971.5
2) 日本自動車研究所「風速の影響を考慮した変長尺付近の自動車排ガスの拡散モデル」 1973.3