

IV-85 自動車からの排出ガス量の分散の推定

東北大学 正 員 武 山 泰

1. はじめに

トンネル換気の計画等においては、自動車からの排出ガス量の平均値とともに分散についても把握することが必要である。本研究においては、縦流換気の一方交通トンネルについてトンネル内濃度を評価するモデルを作成し、トンネル内濃度の実測値から分散の推定を行なった。

2. トンネル内濃度の分散の一般的記述¹⁾

(1) 影響の係数を用いた濃度の記述

i 台前にトンネル内に進入した車両が、トンネル内を走行する間に x_i の排出ガスを排出し、その車両の現時点の濃度への影響が $a_i \cdot x_i$ で表わせるものとする。このとき、トンネル内の濃度 c は過去に通過した車両の影響を加えあわせることにより表わされる。各自動車からの排出ガス量が、平均値 μ' 、分散 σ'^2 の分布に従うものとする、濃度 c の平均値 μ_c および分散 σ_c^2 は次式となる。

$$\mu_c = \sum a_i \cdot \mu_{x_i} = \mu' \cdot \sum a_i \quad (1)$$

$$\sigma_c^2 = \sum (a_i \cdot \sigma_{x_i})^2 = \sigma'^2 \cdot \sum (a_i)^2 \quad (2)$$

(2) 車頭間隔の変動の考慮

トンネル内への車両の進入が等間隔である場合に $\sum a_i$ 、 $\sum (a_i)^2$ の算出が容易となることから、トンネル内への車両の進入をポアソン過程でモデル化する。つまり、 Δt 秒の等間隔においてトンネル内に車両が進入するものとし、実際にトンネル内に車両が進入する場合(確率 $p = \Delta t / T$, T : 平均車頭時間)には平均 μ 、分散 σ^2 の分布に従う車両、進入しない場合(確率 $q = 1 - \Delta t / T$)には、排出量ゼロの仮想的な車両が進入するものとして排出ガス量の分布を合成する。合成された分布の平均 μ' 、および分散 σ'^2 は次式で表わされる。

$$\mu' = (\Delta t / T) \cdot \mu \quad (3)$$

$$\sigma'^2 = \sigma^2 \frac{\Delta t}{T} \left[1 + \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right) \left(\frac{\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (4)$$

(3) 車種別排出量の考慮

自動車からの排出ガス量が、大型車・小型車、または、ガソリン車・ディーゼル車等の2車種分類で、それぞれの車種の排出量の平均 μ_1 、 μ_2 および分散 σ_1^2 、 σ_2^2 が与えられるものとする。このとき、自動車全体としての排出量の平均 μ および分散 σ^2 は、各車種の混入率 P_1 、 $P_2 (= 1 - P_1)$ を用いることにより、次式で表わされる。

$$\mu = P_1 \cdot \mu_1 + P_2 \cdot \mu_2 \quad (5)$$

$$\sigma^2 = P_1 \cdot [\sigma_1^2 + (\mu_1 - \mu)^2] + P_2 \cdot [\sigma_2^2 + (\mu_2 - \mu)^2] \quad (6)$$

3. 縦流換気を考慮したモデル²⁾

延長 L_R (m)、断面積 A_R (m²)、容積 $A (= A_R \cdot L_R)$ (m³) の縦流換気の一方向交通トンネルにおいて、トンネル軸方向の空気の乱れやガスの拡散がないものとして、換気モデルを考える。車両の走行速度を V (m/s)、換気風速を V_R (m/s) とすると、この車両による濃度の上昇分 Δc は、

$$\Delta c = \frac{x_i}{(1 - V_R/V) \cdot A} \quad (7)$$

となる。時刻 t 、距離 l における濃度は、時刻 t_i にトンネル内に進入した車両が時刻 t に距離 l の地点を通過し ($(t - t_i) \cdot V > l$)、かつ、同時刻にトンネル内に引き込まれた空気の境界が l を通過していない ($(t - t_i) \cdot V_R < l$) 場合の影響を加えて求められる。このとき $a_i = 1 / (1 - V_R/V) / A$ であり $\sum a_i$ 、 $\sum (a_i)^2$ は、次式となる。

$$\sum a_i = \frac{N}{(1 - V_R/V) \cdot A} \quad (8)$$

$$\sum (a_i)^2 = \frac{N}{(1 - V_R/V)^2 \cdot A^2} \quad (9)$$

(ここで、 $N = \frac{l/V_R - l/V}{\Delta t}$)

4. 実測濃度からの排出量の平均・分散の推定方法

（1）平均値の推定

各測定時間における、濃度の平均値およびトンネル内の風速、自動車の走行速度から、(1)、(3)、(8)式を用いることにより、各時間における自動車からの排出ガス量の平均値 μ を算出することができる。この μ と各測定時間毎の各車種の混入率を用いることにより(5)式の形の式が測定時間分得られる。これらから、残差の自乗和を最小にする値として車種別の排出量の平均値 μ_1 、 μ_2 を得る。

（2）分散の推定

同様に、各測定時間における、濃度の分散から、(2)、(4)、(9)式を用いることにより、各時間における自動車からの排出ガス量の分散 σ^2 を算出することができる。上述の方法により算出した車種別の平均値を用い、(6)式により与えられる、標準偏差 σ の残差の自乗和を最小にする車種別の標準偏差 σ_1 、 σ_2 が繰返し計算により得られる。

5. 推定結果

一般国道の一方交通トンネルにおける濃度の実測結果³⁾のデータから、自動車からのCOおよびばい煙の排出量の分散を推定した。

表-1に、推定結果を示す。ここでは平均値および標準偏差を示した。また、図-1、2に、今回推定した排出量をもとに、実測時の交通条件によるトンネル内濃度のシミュレーションを行なった結果を示す。これを見ると、ばい煙について、夜間の交通量が少ない時間帯において、実測値に比べてシミュレーション結果の透過率が高い箇所が見られることを除き、両者は概ね一致しているようである。

6. まとめ

一方交通の縦流換気トンネル内の濃度を評価するモデルを作成し、自動車からの排出ガス量の分散を推定した。さらに、バックグラウンド濃度の影響、実時間データとの対比等について検討を行なうことが今後の課題としてあげられる。

〔謝辞〕トンネル内濃度データの収集においてご協力頂きました、建設省東北地建仙台台工事事務所、同西国道維持出張所の皆様に感謝の意を表します。

表-1 平均値・標準偏差の推定結果

物 質	平 均 値		標 準 偏 差	
	大型車	小型車	大型車	小型車
C O	0.218	1.26	3.95	3.99
ばい煙	3.12	0.029	1.39	0.424

単位 (CO ; g/km・台, ばい煙 ; m²/km・台)

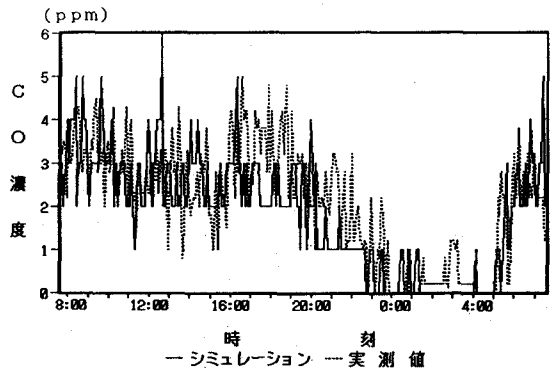


図-1 実測値とシミュレーションの比較(CO)

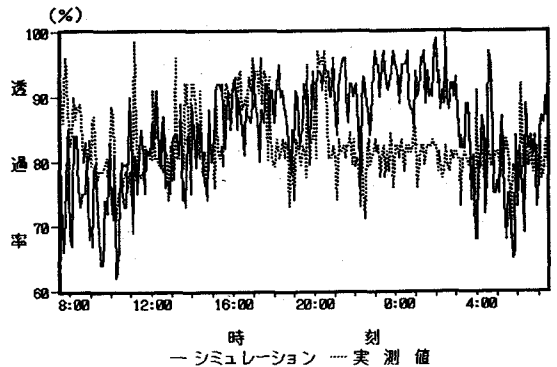


図-2 実測値とシミュレーションの比較(透過率)

〔参考文献〕

- 1) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（換気編）・同解説，昭和60年12月
- 2) 武山：トンネル内の自動車排出ガス濃度の確率的評価方法，昭和63年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要 pp. 342，平成元年3月
- 3) 戸田 他：自動車からのCO、ばい煙の排出量の推定，昭和63年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要 pp. 340，平成元年3月