

IV-194 対面交通トンネル内における自動車の排気ガス拡散

建設省 土木研究所 正会員 水谷 敏則
建設省 土木研究所 ○正会員 堀内浩三郎

1. まえがき

道路トンネルには、自動車から排出される有害成分を許容濃度限界以下になるように希釈するための換気が不可欠である。長大トンネルでは、所定の換気施設を設置し運用管理することにより初期の目的を達成することが可能である。一方、換気施設のない延長の短いトンネルの換気は、気象条件によってトンネル内を吹きぬける自然風による他、自動車の走行に伴う昇圧力による換気風および自動車がトンネル内空気を攪乱することから生じる汚染物質のトンネル軸方向拡散の効果によって行われている。特に、対面交通のトンネルにおいては、自然風および上下方向の交通量がつり合った状況を想定すると、走行車両によるトンネル軸方向拡散効果のみがトンネル換気に重要な役割を果たすものである。

本報告では、上記の観点から自動車の走行に伴う汚染物質の軸方向の拡散作用（拡散係数）を把握する目的でおこなった模型実験の結果を紹介するものである。

2. 実験方法

実験は、外風等の影響を受けない風洞内に設置された縮尺1/100のトンネル模型（図-1、延長4m）を用いて行った。

トンネル内には、走行ベルトに取り付けた大型車および小型車の模型を配置し、その形状寸法、車頭間隔はトンネル模型の縮率に合わせた。実験条件は、交通量、大型車混入率および自動車の形状を変化させた。模型自動車の走行速度については、縮率を考慮せず、実車と同じ5km/h～80km/hとした。

実験は、走行速度と交通量をパラメータとして、トンネル内に対面交通で自動車を走行させながらトンネル中央のアーチ部に設けた注入口からトレーサガス（ C_2H_4 ）を一定量ずつ注入し、トンネル内の軸方向の濃度分布が定常に達したのち等間隔（100mm）に設けられたサンプリング孔（40断面）から抽出したガス濃度を測定した。濃度の測定は、FID分布計を用いて1断面で3箇所（図-1を参照）を同時に測定した。

3. 調査成果

換気設備のない対面交通のトンネルにおける自然換気の限界を考えた場合、最も厳しい条件として自然風がゼロ、交通換気力が上、下方向で釣り合った状態が考えられる。図-2は、トンネル軸方向の単位区間における有害成分の濃度と収支の関係を示したものであり、有害成分の軸方向拡散係数 D （ m^2/s ）を用いると次の関係が成り立つ

$$A_r \cdot D \cdot d^2 c / dx^2 + w = 0 \quad \dots (1)$$

ここに、 A_r :トンネル断面積(m^2)

w :トンネル単位長さあたりの有害成分排出量(m^3/s)で、 $w = g \cdot n$ で与えられる。

g :自動車の走行距離あたりの排出量($m^3/m/台$)

n :交通量(台/s)

c :トンネル内の有害成分の濃度

実験から得られたトンネル内の濃度分布の模式図を図-3に示す。断面内濃度が不均質な注入口付近をのぞいた区間のガス濃度値から最小2乗法により濃度勾配を求めた。(1)式において $w=0$ 、注入ガス量 Q_1 を用いて次式から軸方向拡散係数 D を算出した。

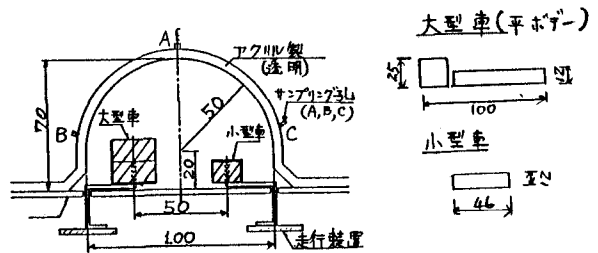


図-1 トンネル模型と走行装置

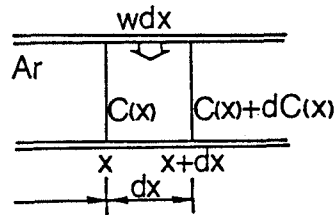


図-2 有害成分の収支関係

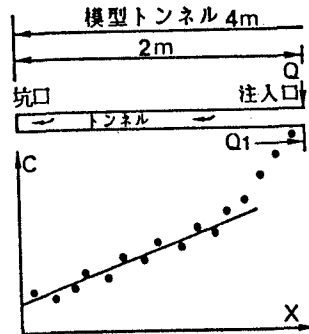


図-3 濃度分布の模式図

$D = (Q_1 / A_r) / (dx/dr) \quad \dots\dots(2)$
 D の値を実際のトンネルの軸方向拡散係数に関連づけるために次元解析を行ない、関連する無次元量として次のように整理した。
 無次元拡散係数 $D_1 = D / V \cdot dr$
 無次元車頭間隔 $L_1 = L / dr$
 走行レイノルズ数 $Re_1 = V \cdot dr / \nu$
 ここに dr ：トンネル代表寸法(m)
 V ：自動車の速度(m/s)
 ν ：空気動粘性係数(m^2/s)
 L ：車頭間隔(m)

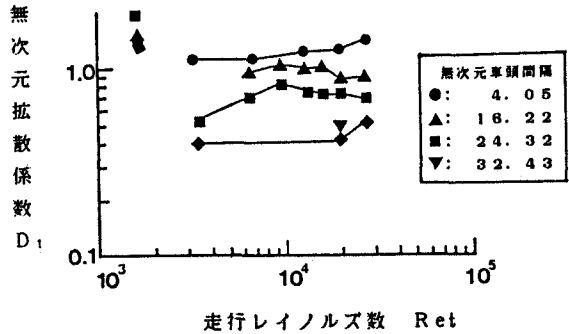


図-4 無次元拡散係数 D_1 と走行レイノルズ数の関係

図-4は、大型車混入率30%の場合について無次元車頭間隔をパラメータとして無次元拡散係数 D_1 と走行レイノルズ数の関係を示したものである。無次元拡散係数 D_1 は、無次元車頭間隔についてみると走行レイノルズ数が 3×10^3 以上になると走行レイノルズ数に依存することなくのほとんど一定の値になっている。この結果から走行レイノルズ数が実際のトンネル(10^6)に比べと小さい値になっているが 3×10^3 以上では無次元拡散係数 D_1 が一定であるのでこの値を採用することにした。

図-5は、大型車混入率をパラメータとして無次元車頭間隔および交通量と無次元拡散係数 D_1 との関係を示したものである。無次元拡散係数 D_1 は、無次元車頭間隔に依存し、この値が小さくなるに従って増加する。すなわち、無次元拡散係数 D_1 は大型車混入率が100%の場合、交通量が150台/時/レーンで約0.6、2000台/時/レーンで約2.4と走行速度が一定であれば、交通量が多いほど大きくなっている。

ちなみに、図から得られた無次元拡散係数 D_1 を用いて、下記の条件で(3)式により C_{max} が許容濃度となる場合のトンネル限界延長 La を計算すると次のようになる。

$C_{max} = g \cdot N \cdot La^2 / (8 \cdot A_r \cdot D) \quad \dots\dots(3)$
 条件として、 $A_r = 60m^2$, $dr = 7.5m$, $N = 1000$ 台/時/レーン(0.28台/秒), $V = 60Km/時(16.7m/s)$, 大型車混入率30%, 許容濃度 $\tau = 40\%(3.98 \times 10^{-3})$ とすると
 $D_1 = 1.06$ (図-5より)
 $D = D_1 \cdot V \cdot dr = 1.06 \times 16.7 \times 0.5 = 132$
 排出量 $g = 1.054 \times 10^3$
 $La^2 = 3.98 \times 10^3 \times 8 \times 132 \times 60 / (1.054 \times 10^3 \times 0.28)$
 $La = 924m$
 得られた限界延長は、現在目安として用いられている $La \cdot N = 600$ の値よりも大きい値になっている。

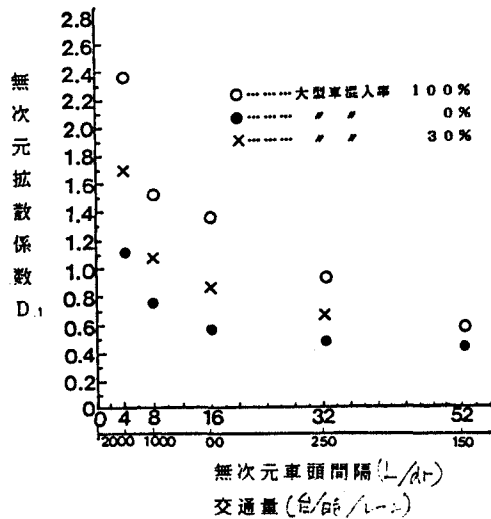


図-5 無次元車頭間隔および交通量と無次元拡散係数 D_1

3. あとがき

対面交通のトンネルで、任意の交通量と大型車混入率に対して軸方向拡散係数の値を明らかにし、自然換気でまかなえるトンネルの延長を明らかにした。