

——トンネル切羽におけるメタンガスの拡散様式のための換気効果および閉鎖的空間におけるガス拡散現象の相似則についてのトンネル模型を用いた確認実験について——

労働省産業安全研究所 正 佐藤吉信

1. まえがき. トンネル切羽からメタンガスが湧出してくる場合のトンネル内ガス濃度分布を支配するものに、トンネル内形状、ガスの湧出部位、湧出量、および換気条件として、換気方式、換気量、吹出口の位置、吹出速度等が考えられる。これ等の種々の条件と、切羽付近のガス濃度分布との関係を把握して、適切な換気方式が検討されるように、トンネル模型を用いて、一連の実験のうち、主に、切羽から風管吹出口までの距離が、濃度分布に与える影響について、この種の閉鎖的空間における、ガス拡散問題の相似条件について、確認実験も行、たので、結果を報告する。

2. 相似条件. (1). 幾何学的相似条件: 本実験では、第1報で用いたトンネル模型の、 $\frac{1}{4}$ の縮尺のアクリル製の模型を用いた。この形状、寸法表示、および、ガス濃度測定点の座標表示の記号を図1に示す。現実のトンネル内部により似せるために、 $A=27$ $B=25$ [mm] のH型支保工模型も、トンネル内に $0.183H$ の間隔で設置したり、切羽付近のボーリングマシンなどの障害物の模型も設置する事等も試みられた。(2) 気流、ガス発生量、排出速度および吐出ガスの密度に関する相似条件: 第1報で触れたように

$$K_{mi}/U_0 H (=1/Re_x) \dots (1) \quad K_{si}/U_0 H (=1/Re_x) \dots (2)$$

$$g/U_0 C_0 H^2 \dots (3) \quad V_0/U_0 \cdot U_0/U_0 \dots (4)$$

および $gH(A\rho/\rho)/U_0^2 (=1/Fr^2) \dots (5) \quad i=X, Y, Z$ の各無次元数も考慮しなければならないが、実際には(3), (4), (5) だけ一致できればよく、さらに幾何学的相似条件より(3), (4) は等価となる。

3. 実験装置. 図1に示したトンネル模型は $H=0.5$ [m] $L=9H \sim 11H$ であり、トンネルを支える架台は、トンネル全体の傾斜角度を変えられることができる。切羽面および任意の部位に、ガスも吐出させるための、ガスボックスを取りつけることができ、これにガスシリンダーから適当な流量で混合ガスを注入し、トンネル内へ吐出させる。風管はエンパイプの内径が、ほぼ $\frac{1}{5}$ と $\frac{1}{10}$ の二種類を用い、風管の位置を

記号の説明

L : トンネル長 [m] l : 切羽からの距離 [m] l_0 : 切羽からの無次元距離 l/H H : 代表寸法 (トンネル高さ) [m] h : 床面からの高さ [m] h_0 : 無次元高さ h/H C : ガス濃度 [%] C_0 : 代表濃度 q/q_0 [%] Q : 換気量 [%] q : ガス吐出量 [%] U_0 : 換気の代表吹出速度 [m/s] u_0 : ガスの代表吐出速度 [m/s] g : 重力加速度 [m/s²] ρ : 空気の密度 $\Delta\rho$: 空気とガスの密度差 V_0 : ガス汚染空気の排出代表速度 [m/s] K_{mi} : 渦動粘性係数 [m²/s] K_{si} : 物質の渦拡散係数 [m²/s] Re_x : 乱流レイノルズ数 Re_t : 乱流ペクルス数 Fr : フルード数 k : 実物の模型に打する相似倍率 (X, Y, Z): トンネル内のガス濃度測定点を示す。特に X は、 $X=L$ のとき長さ $0.18H$ を示し、同様に $Z \rightarrow 0.54H$ $Z \rightarrow 0.9H$ $Z \rightarrow 1.26H$

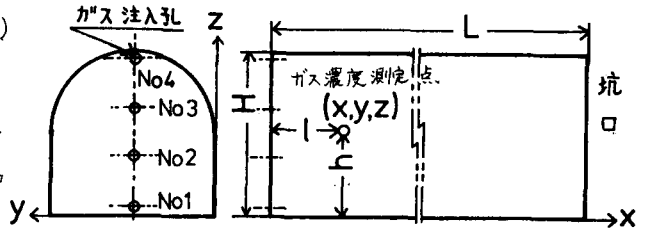


図1 トンネル模型概略図

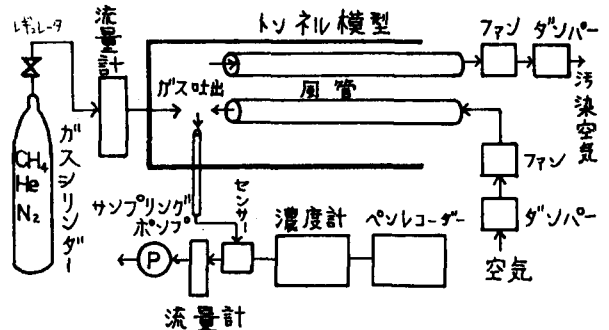


図2 測定系統

自由に変える事ができる。この風管を通して、ファン・ダンパーにより、適当な風量で、送気と排気ができる。トンネル内の適当な場所(x, y, z)の空気-ガス混合体で、サンプリングポンプが、サンプリングパイプ(内径4φ)を通して、接触燃焼型可燃性ガス検知器のセンサーボックス内へ導き、ガス濃度を連続アナログ出力し、記録紙へ記録させる。センサーボックスの容積は88ccであり、サンプリング量は1~2[%]一定とした。

4. 実験方法 実物で想定されるガス吐出量、換気量に対して模型では $\frac{1}{10}$ 倍、風速に対しては $\frac{1}{10}$ 倍の量を用いればよい。使用ガスは第1報と同じものを用いた。主に切羽面からガスを吐出させ、風管吹出口の距離 l を変えて、濃度分布を調べた。サンプリングされたガスの濃度は、時間に対して変動が大きい場合があるが、場合に応じて、十分に長いサンプリングタイムを取って、最大値、最小値および時間に対する平均値を求めた。図は平均値を用いて描かれている。

5. 実験結果 測定結果の1例を図3に示す。実験条件は、小風管の吹出口($Q=1.25[m^3/min]$)と大風管の吸入口($Q=5[m^3/min]$)が、それぞれ $y=0.82H, 0.5H, z=0.6H, 0.84H$ であり、図3-1では $l(=x)=5.1H, 5H$ 図3-2で、 $l=4H, 3.92H$ 図3-3で、 $l=2.82H, 2.9H$ とし、ガスは図1のNo.2の孔(床から25[mm])から $q=9.6[\%]$ $u_0=0.3[m/s]$ で吐出させ、ボーリングマシンの模型が障害物として置いてある。これは、従来言われている、 l が5H(Hは木口直径)以上になると、稀釈が急激に悪くなるということをよく示しているが、 $l<5H$ でも、ガス吐出部位(特に上部の場合)や換気量の少ない場合は、局所的に、濃度が5[%]以上になる事があり、その範囲も場合に応じて求める事ができた。

6. 相似の確認実験とその結果について、今回用いた小トンネル模型は、第1報の大模型も実物とした場合の、縮尺 $\frac{1}{4}$ のモデルとしてよいので、これ等を用いて、相似確認実験を行った。実験条件は、大風管で($4H, \frac{1}{2}, \frac{4}{3}$)から、 $Q=0.5, 0.68, 1.5[m^3/min]$ で吹出させ、 $q=3.1, 6.3[\%]$ でガスもNo.2の吐出孔から吐出させた。5種類の実験で、いずれの分布パターンもよく似てい

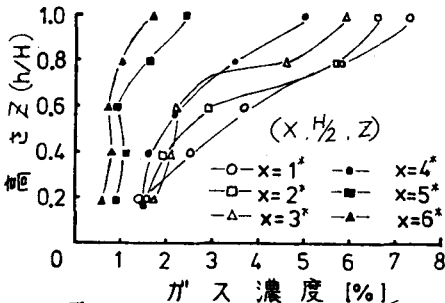


図3-1 ガス濃度分布曲線

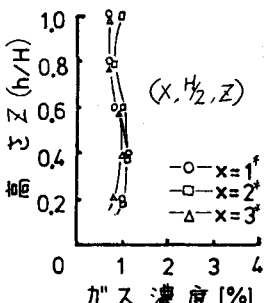


図3-2

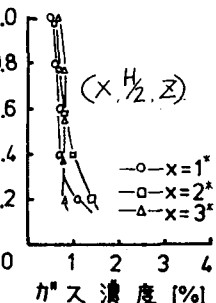
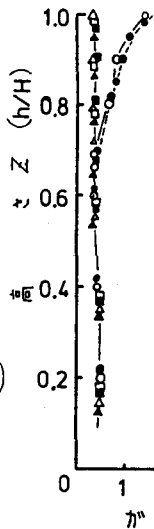
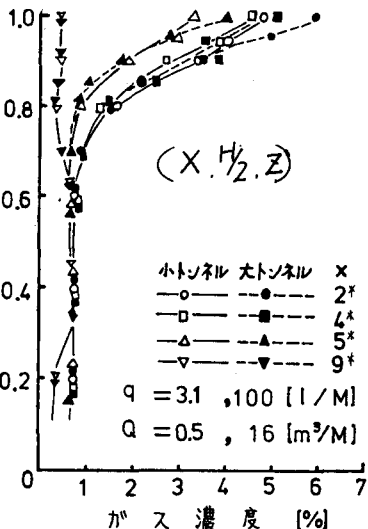


図3-3



($X, \frac{1}{2}, Z$)

小トンネル 大トンネル x
 ○ --- ● --- 2*
 □ --- ■ --- 4*
 △ --- ▲ --- 5*
 $Q = 6.3, 200 [l/M]$
 $Q = 1.5, 48 [m^3/M]$



($X, \frac{1}{2}, Z$)

小トンネル 大トンネル x
 ○ --- ● --- 2*
 □ --- ■ --- 4*
 △ --- ▲ --- 5*
 ▼ --- ▽ --- 9*
 $Q = 3.1, 100 [l/M]$
 $Q = 0.5, 16 [m^3/M]$

図4. 相似確認実験におけるガス濃度分布曲線

て、今回の実験条件の範囲では、前記の相似則が成立すると思われる。あとがき、本実験を行うにあたり、東京工業大学小林信行助教授に多大の御教示をいただきました。また、東京冷機工業株式会社(当時電機大学生)柏崎康夫氏には実験協力をお願いしました。感謝の意を表わします。

参考文献
 ① 昭和54年度土木学会全国大会講演概要集 第四部P.277 289~290
 ② 小林信行、大場西昭：空気清浄 Vol.15 No.6 「室内における拡散に関する実験」