

VI-262

トンネル内メタンガス拡散模型実験

鹿島建設（株） 正員 ○稲垣 聡
横田 依早弥
正員 池谷 毅

1. はじめに

メタン等可燃性ガスを含む地盤の掘削では、可燃性ガスの湧出による爆発事故を防止するためにガスを速やかに希釈し坑外に排出する換気システムが重要となる。本実験ではトンネル模型内に換気管を配置し、模擬メタンガスを発生させ、換気流速分布及びガス濃度分布の詳細な測定を行い、工事中のトンネル内のガスの拡散の状況について調べた。

2. 実験装置

工事中トンネルの主な換気方法としては、図-1に示すように外気を主風管を通じて切羽へ送り込む送気式と切羽付近の汚染された空気を主風管を通じて排出する排気式がある。排気式の場合は切羽付近の希釈効果を高めるため、局所送風管を用いるのが普通である。実験装置はどちらの方式にも対応でき、その概要を図-2に示す。トンネル本体は内径 $D=340\text{mm}$ 、全長 $20D$ （内径 D の20倍、以下も長さは D で正規化）の透明アクリル製の円筒で、切羽部となる先端は閉じている。換気管は主風管（内径 $0.0147D$ ）と排気式で使用する局所送風管（坑口側の空気を一部トンネル外に取り出し、メタン発生口の直前でトンネル内に再び送り込む）を取り付ける。

メタンガスの模擬ガスとして、ヘリウム・空気に体積濃度1%のメタンを混合し、全体の比重を100%メタンと同じ0.55に調整したものを準備した。模擬ガスは $x=0.5D$ の位置の天井部に設けた $5\times 50(\text{mm})$ のスリットから鉛直下向きに噴出させた。流速の測定にはレーザー Doppler 流速計を、またメタン濃度の測定には水素炎イオン化式の炭化水素ガス濃度計を用いている。

3. 実験内容と考察

3-1 メタン拡散の基本性質について

最初に、換気を行わない状態で模擬ガスを発生させ、トンネル内にメタンが拡散していく様子を調べた。図-3は噴出口からメタンを 5.43l/min 発生させ、定常状態となったときの可視化写真である。また、図-4は同条件で $x=0.9D$ 、 $1.6D$ 、 $3.8D$ におけるトンネル中心を含む鉛直軸上でのメタン濃度（値は100%濃度のメタンが発生した場合に換算）及びメタンの

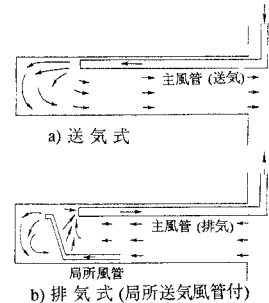


図-1 2種の換気方式

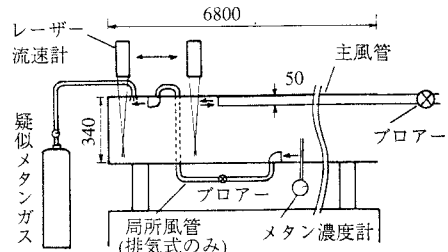


図-2 実験装置概要

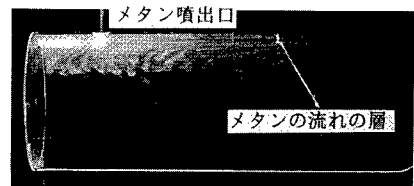


図-3 メタン拡散の可視化写真（換気なし）

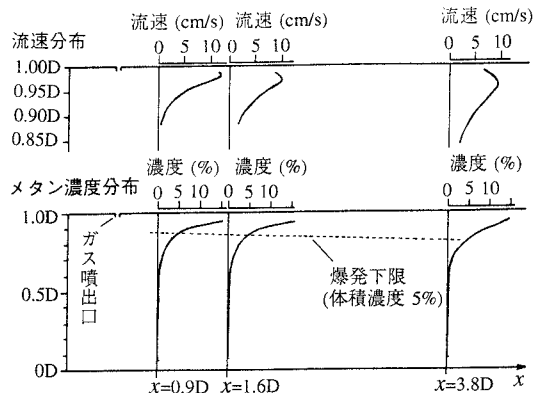


図-4 メタン拡散時の流速分布及び濃度分布（換気なし）

流れの速度鉛直分布である。メタンは比重0.55と空気より軽く、噴出後にトンネル天井付近でメタンレヤーと呼ばれる層を形成する。天井近くの薄い部分では目に見えてわかる程度のメタンの坑口方向への流れがあり、これは希釈されていない高濃度のメタン層で、その移動速度はメタンと空気の密度差で生じる。このメタンの流れの層は坑口側に行くに従い速度は徐々に小さくなり厚くなっていく。この層の下では気体はほぼ静止している。鉛直濃度分布を計測してみると坑口側に行くに従い徐々にメタンが拡散しており、メタンの爆発下限（体積濃度5%）を超える濃度の範囲は天井から離れた範囲に広がっていく。これらメタンレヤーを解消するには、天井部でのメタンの流れに乱れを起こす必要があり、換気流による希釈でも天井付近に重点を置くことになる。

3-2 換気時流速・ガス濃度分布とトンネル内障害物の影響

実験では換気方式、ガス発生量、換気風量、換気管位置、また排気式では主管管と局所風管の流量比を様々に変化させて計測を行っている。ここではメタン発生量2.66ℓ/minの場合の送気式換気における計測例を示す。主管管の位置と風量等の条件を図-5に示す。図-6(a)、(b)にトンネル中心を含む鉛直断面（図-5のA-A'断面）における流速のx成分及びメタンガス濃度の分布を示す。切羽先端まで主管からの換気流が到達しており、メタン噴射口付近のメタンを速やかに希釈している。次に、本来工事中のトンネル内に存在する機械・台車など換気流に対する障害物の影響を調べるため、トンネル内にシールドマシンの後続台車を想定した直方体の箱（以下障害物模型と呼ぶ）を設置して同条件で計測を行った例を示す。障害物の設置位置は図-7のとおりであり、図-8(a)、(b)がそれぞれA-A'断面における流速のx方向成分及びメタン濃度の分布である。障害物の抵抗のため換気流が切羽まで到達せず、切羽付近に噴出したメタンの拡散していない部分が現れている。

4. おわりに

著者らは現在このトンネル換気の問題について乱流モデルを用いたガス換気数値シミュレーション手法の開発を進めており、今後はこの測定の結果をもとに本手法を確立していく予定である。

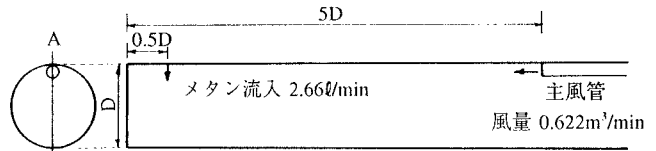


図-5 風管位置・メタン発生量・換気風量設定（送気式）

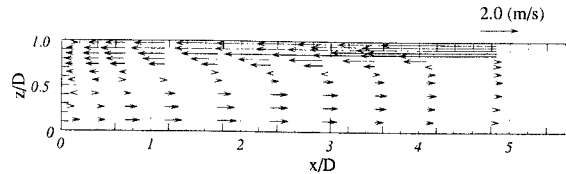


図-6(a) 送気式換気時の測定結果（流速x成分、A-A'断面）

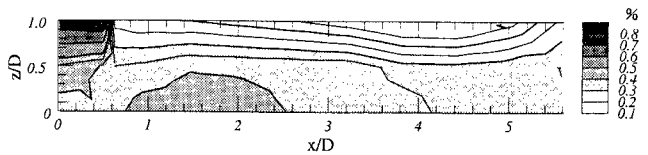


図-6(b) 送気式換気時の測定結果（メタン濃度、A-A'断面）

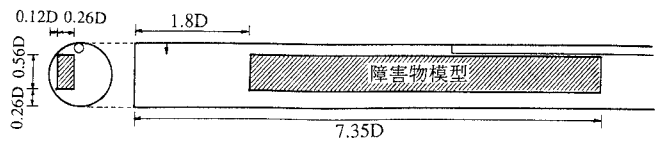


図-7 障害物模型の設置位置

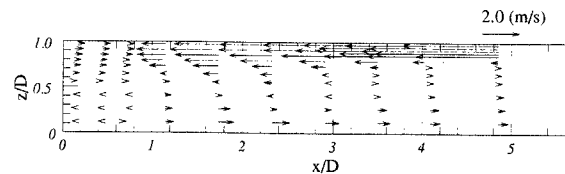


図-8(a) 障害物設置時の測定結果（流速x成分、A-A'断面）

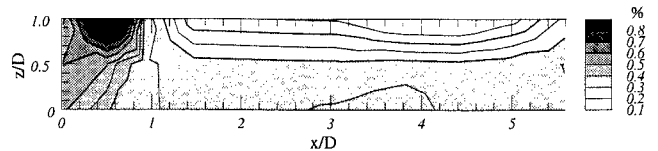


図-8(b) 障害物設置時の測定結果（メタン濃度、A-A'断面）