

CFD を用いた円形掘進切羽におけるメタンガスの流動に関する研究

九州共立大学工学部 学生会員 ○岡井 淳 九州共立大学工学部 学生会員 吉田 真樹
九州共立大学工学部 正会員 中山 伸介 九州共立大学工学部 正会員 成富 勝

1. はじめに

トンネルや坑道の掘進切羽では、有害ガス、熱、粉じんなどが発生しやすいため局所通気を行って新鮮な空気を送り、作業環境の向上を図っている。しかし現場では空気の流れがきわめて複雑であるため、それらを効果的に排除できる最適な通気法を見出すことは難しい。

現場での実測や室内実験は、危険が伴うだけでなく、様々な条件に基づいた定量的データを得るために相当な時間を要する。

そこで本研究では、CFD (Computational Fluid Dynamics: 数値力学的手法) を用いて、円形断面を有する掘進切羽内のメタンガスの流動シミュレーションを行ったので報告する。

2. 解析方法

基礎式として、連続の式、Navie-Stokes の式、乱流エネルギーとその散逸率に関する式 (k-ε 方程式) を用いた。基礎式の離散化においては、各物理量を保存するためコントロールボリューム法を用いた。

数値解析に用いた基礎式は、連続の式、N.S.式、k-ε の輸送方程式である。連続の式 (1) 式により、運動量及びエネルギーの式は (2) 式で表せる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u}) = 0 \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{u} \phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) + S \dots \dots \dots (2)$$

ここで、ρ: 密度 (kg/m³) , t: 時間 (s), u: 速度ベクトル (m/s) であり、(2) 式の φ には、各方向速度成分と乱流エネルギー k およびその散逸率 ε が入る。Γ は拡散係数、S はソース項である。今回は、浮力の影響を考慮するため、鉛直方向については重力加速度を導入した。

3. 解析モデル

解析モデルを図 1 に示す。直径 0.8m、長さ 8m を有する円形断面掘進切羽の内部に、ファンを直結したダクトを設置している。風管の直径 D は、0.1~0.2m、天井間距離 H と引立面間距離 L はそれぞれ 0~0.4m、1~4m に変化させた。メタンガスは、常に引立面から 0.014m³/min の割合で滲出するように条件を与えた。

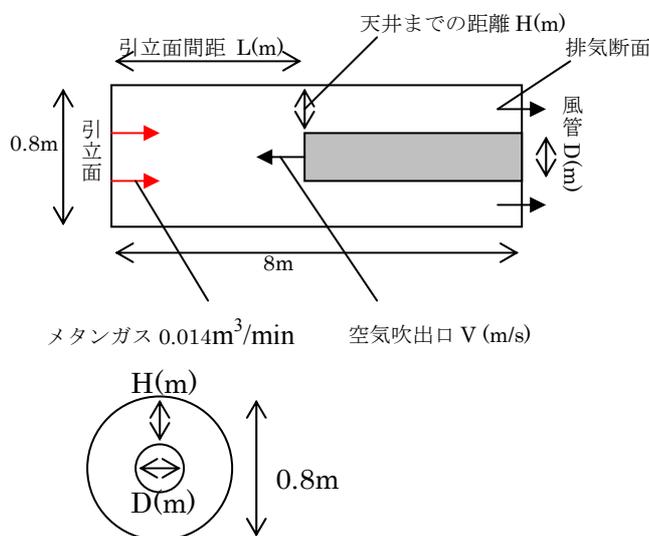


図 1 数値解析モデル

4. 解析結果

風管径 D=0.1m, 引立面間距離 L=4m, 風速 10m/s の条件を与えて解析した結果を図 2 に示す。

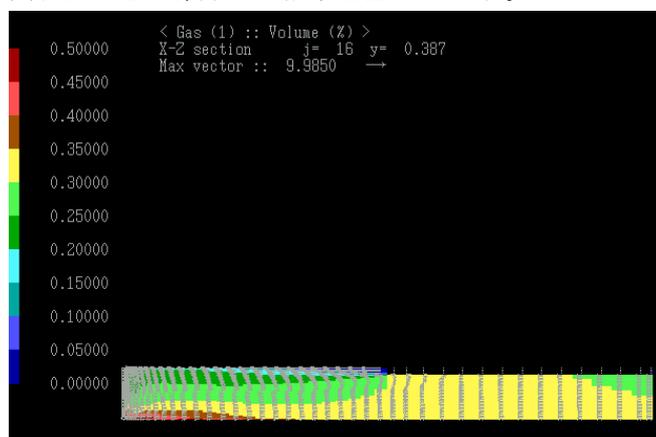


図 2 中央鉛直断面におけるメタンガス濃度と速度ベクトル(風管天井: D=0.1m, H=0m, V=10m/s)

この図には、中央鉛直断面におけるメタンガス濃度 (Vol.%) と、断面上の速度ベクトルを表示している。風管を床面に設置した場合の結果を図3に示す。

これらの結果から、いずれのケースも風管吹き出し口の下流側1~2mの領域では、新鮮な空気の希釈によりメタンガスが希釈されているため濃度はきわめて低い。

風管を天井もしくは床面に設置した場合、爆発限界の下限である0.5%前後の領域は、引立面の隅に見られるだけである。またメタンガスは空気よりも軽く、浮力が生じているにもかかわらず、風管を天井と床面に設置した場合を比較すると、ほぼ上下逆さまの濃度分布を示している。これは風管から吹出す空気による対流成分がメタンガスの浮力による拡散成分よりも卓越していることを意味する。

図4は風管を正面断面中央に設置した場合のメタンガス濃度と速度ベクトルを示した図である。風管から吹き出す通気速度の減衰が他の2つの条件の場合に比べ大きいために、新鮮な空気が引立面まで到達していない様子が見える。そのため、引立面の手前約2mの空間ではメタンガス濃度が0.4%を超えており、メタンガスが希釈されずに滞留している。

次に、天井近傍と掘進切羽中心線上におけるメタンガス濃度に関するグラフを示すと図5のようになる。

天井近傍においては、引立面付近で風管設置位置が天井、床面、中心の順に濃度が低いことがわかる。風管が正面断面中央にある場合、風管吹き出し口直後では比較的濃度が低いものの、前述の理由から引立面に近づくにつれて、濃度は著しく高くなる。

一方床面近傍においては、風管を天井あるいは床面に置いた場合、対流成分が卓越しているためほぼ同一の曲線を示している。

4.おわりに

掘進切羽におけるメタンガスの流動について調べた結果、風管の位置がメタンガスの濃度パターンに著しい影響を与えることがわかった。

参考文献

中山・一ノ瀬・内野・井上：掘進切羽におけるメタンガス濃度の実測とCFDによるシミュレーション、資源と素材, No.11, Vol.114(1998)

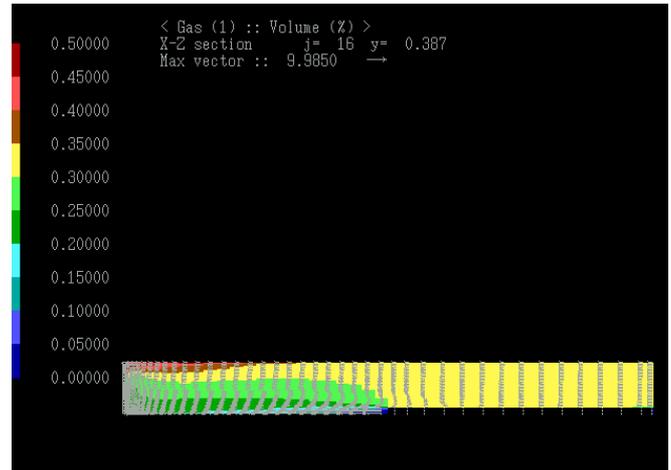


図3 中央鉛直断面におけるメタンガス濃度と速度ベクトル(風管床面：D=0.1m, H=0m, V=10m/s)

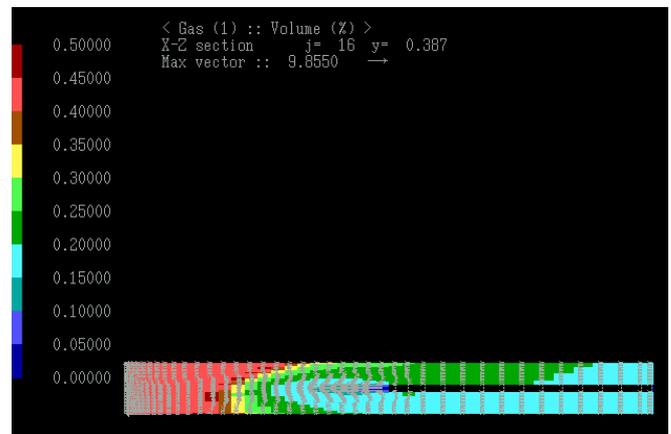


図4 中央鉛直断面におけるメタンガス濃度と速度ベクトル(風管中央：D=0.1m, H=0m, V=10m/s)

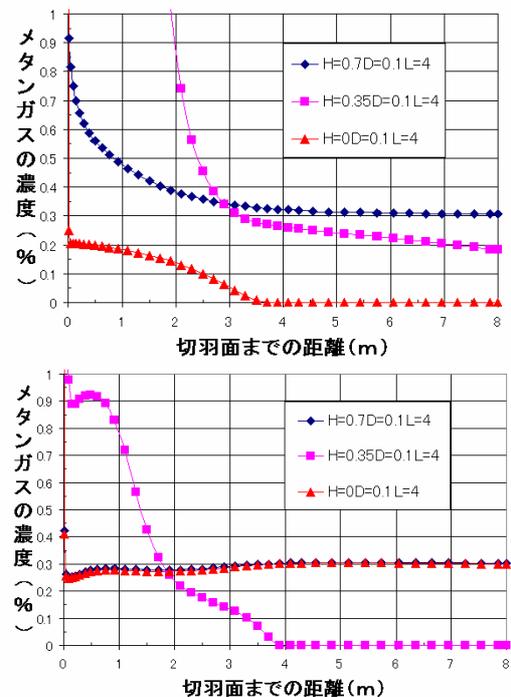


図5 中央鉛直断面におけるメタンガス濃度 (上：天井近傍、下：正面断面中心)