

工事中トンネル坑内換気に関する一考察

萩谷 宏三*
Kōzō Hagiya

片野 彦一**
Hikoichi Katano

山口 達信***
Tatsunobu Yamaguchi

芦川 正行*
Masayuki Ashikawa

松井 鐘司*
Shōji Matsui

1. はじめに

トンネル坑内の環境に及ぼす要因の中では、浮遊粉塵の影響が最も大きい。近年、トンネルの施工法としては NATM が主流となり、また機械化施工が増加している。それに伴いコンクリート吹付け時の粉塵やズリ出し時のディーゼル機関の排ガス等が、作業員の健康障害の原因となり、また作業環境を悪化させ作業性や安全性の低下を招いている。このような(準)閉空間においては、粉塵発生量の低減化と浮遊粉塵の効率的除去・排出が具体的な対策である。

しかし、坑内換気計画の作成にあたり、経験や作業形態を優先的に考慮するため、必ずしも効果的な方法がとられていないのが現状である。

そこで本論では、トンネル坑内の気流(風速、風向)と粉塵濃度分布を実験的に求め、市販の汎用熱流体プログラム(FLUENT/PC; サイバネット システム株)を用いて簡単なシミュレーションを試み、効率的除去・排出方法を検討した。

2. 実験概要

実験に使用した模擬トンネルの概要を Fig. 1 に示す。坑口近傍には防風スクリーンを設置し、外乱に対処した。

実験パラメータは、送気位置、送気風量、排気の有無、補助ファンの有無及び位置(吹出し方向含む)とした(Table 1)。

Table 1 実験ケース

実験ケース番号	送気位置:A (mm)	送気風量 (%)	排気の有無	補助ファンの有無
1	2,000	100, 75* ¹ (21.8)(15.5)	無	無
2* ²	6,500	100, 75 (19.7)(15.7)	〃	〃
3* ³	2,000	100, 75	〃	有
4* ²	6,500	100, 75	〃	〃
5	2,000	100, 75	有	無
6* ²	6,500	100, 75	〃	〃

*1 送気ファンの出力を、インバータにより75%に制御。
()内は、吹出し風速 (m/s)。

*2 実験ケース2,4,6については、粉塵濃度測定は行っていない。
なお、粉塵濃度の測定は、地面上1,200mmの平面内で行った。

*3 補助ファンの位置をパラメータに、4ケース追加。

また実験には、Table 2 に示す設備・計測機器を用いた。

模擬粉塵として、ポルトランドセメントとオンジナオイルを選定したが、発生量の安定性の良さから後

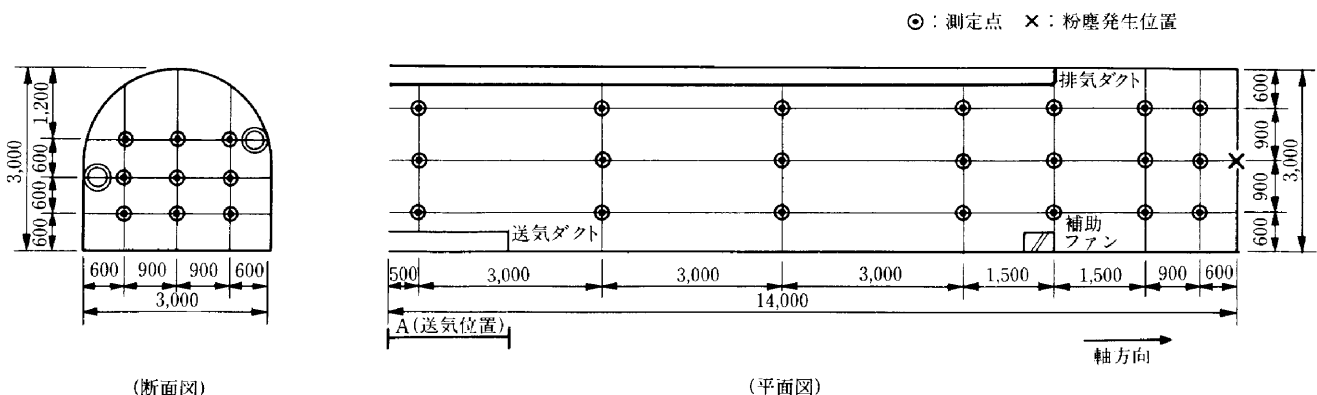


Fig.1 模擬トンネルの概要

*技術研究部建築技術課
**技術研究部建築技術課副課長
***関西(支)大阪鶴見(出)

者(煙粒子)を採用した。煙粒子の約80%が、0.3~0.5 μm の粒径範囲にあった。実際、サブミクロンオーダーの粒子による人体への影響(肺胞への沈着)が特に問題であることから、煙粒子の選定が妥当であると考え。

Table 2 設備・計測機器

模擬粉塵発生機	スクリューフィーダ+クラックプロア (ポルトランドセメント) 煙発生機(オンジナオイル)
粉塵濃度計	デジタル粉塵計 パーティクルカウンタ+希釈器
気流の確認	レーザ可視化装置(LLS) }風 向 タフト法 } スモークテスター } ビデオカメラ、カメラ } 多点微風速計.....風 速
そ の 他	デジタル温湿度計

粉塵濃度の測定は、3台のデジタル粉塵計をトラバース(地面上1,200mm)して行った。なお、実験中粉塵発生機(オンジナオイル)の安定性確認のために、高濃度用のデジタル粉塵計を発生源近くに常設し監視した。

風速の測定には多点微風速計(4ch)を用い、その方法は上述した粉塵濃度の測定(地面上600, 1,200, 1,800mm)に準じた。一方、風向の決定には、タフト法を主に用い、レーザ可視化装置、ビデオカメラ及びスモークテスター等はその補助とした。

3. 解析概要

計算機能の大幅な向上は、パソコンで取り扱える流体解析プログラムの開発を助長した。本論で使用したFLUENT/PCとは、米国のCreare社の開発した汎用熱流体プログラム(パソコン版)で、有限差分法を用いている。2次元、3次元の層流又は乱流の熱流体解析ができ、入出力は会話形式である。最大グリッド数は2,500点である。

解析条件を次に示す。

- ・ 3次元
- ・ グリッド数: 2,304 (12×12×16)
- ・ グリッド間隔: 断面; 0.3m, 軸方向; 1.0m
- ・ 定常流
- ・ 乱流: K-ε 乱流モデル

なお、温度は考慮せず、送・排気及び補助ファンの位置並びに風速・風向(実測値)を境界条件とし

て与えた。1ケースの計算時間は7時間前後であった。

4. 結果及び考察

実験ケース1の気流分布の実測値をFig. 2に示す。送気ダクト吹出し口の風速は21.8m/s(地面上1,800mm)であるが、切羽から3m(=トンネル径)の位置では約1.0m/sに低下している。

3m以内では、風向が定まらず渦流が発生し、粉塵が切羽全域に渡って停滞していると考えられる。なお、送気風量を75%に削減しても切羽付近の現象に相違はない。

Fig. 3は、切羽付近の停滞域をコントロールする

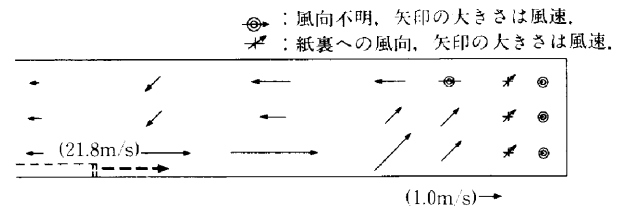


Fig.2 気流分布(実測値) (実験ケース1, 地面上1,200mm)

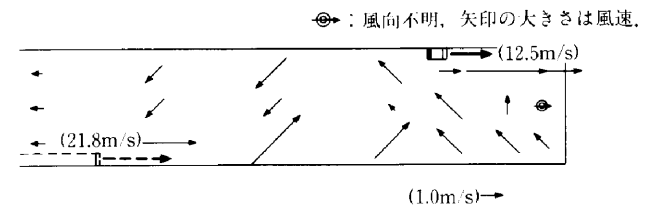


Fig.3 気流分布(実測値) (実験ケース3, 地面上1,200mm)

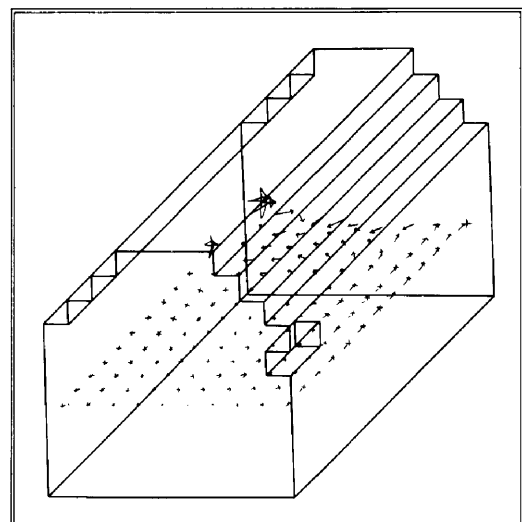


Fig.4 FLUENT/PCによる解析 (実験ケース3, 地面上1,200mm)

目的で、実験ケース1に補助ファンを加えた場合の気流分布である。その結果切羽付近にも、坑口へ向かう一連の流れが存在するようになった。これをFLUENT/PCでシミュレートしたのがFig.4である。Fig.3と同様に送気流と切羽からの反射流との衝突が、切羽右前方で発生している。左前方についても、実測数が少ないが、Fig.4との相関が強いと言える。

さらに、このケースを粉塵濃度計分布の側面から見たのがFig.5パターン1である。シミュレーション

の結果から予測されたように、切羽右前方に粉塵の高濃度域が発生している。パターン2では、補助ファン吸引力の周囲への影響が小さく、補助ファンが効果的に機能していない。そのため切羽付近に粉塵が蓄積し、Fig.2の気流分布と大きな相違はない。パターン1及びパターン3～5は、補助ファンの位置(吹出し方向含む)、気流をコントロールして、任意の場所に高濃度域を形成できることを示している。

従って、送気ダクトと補助ファンで形成したこの

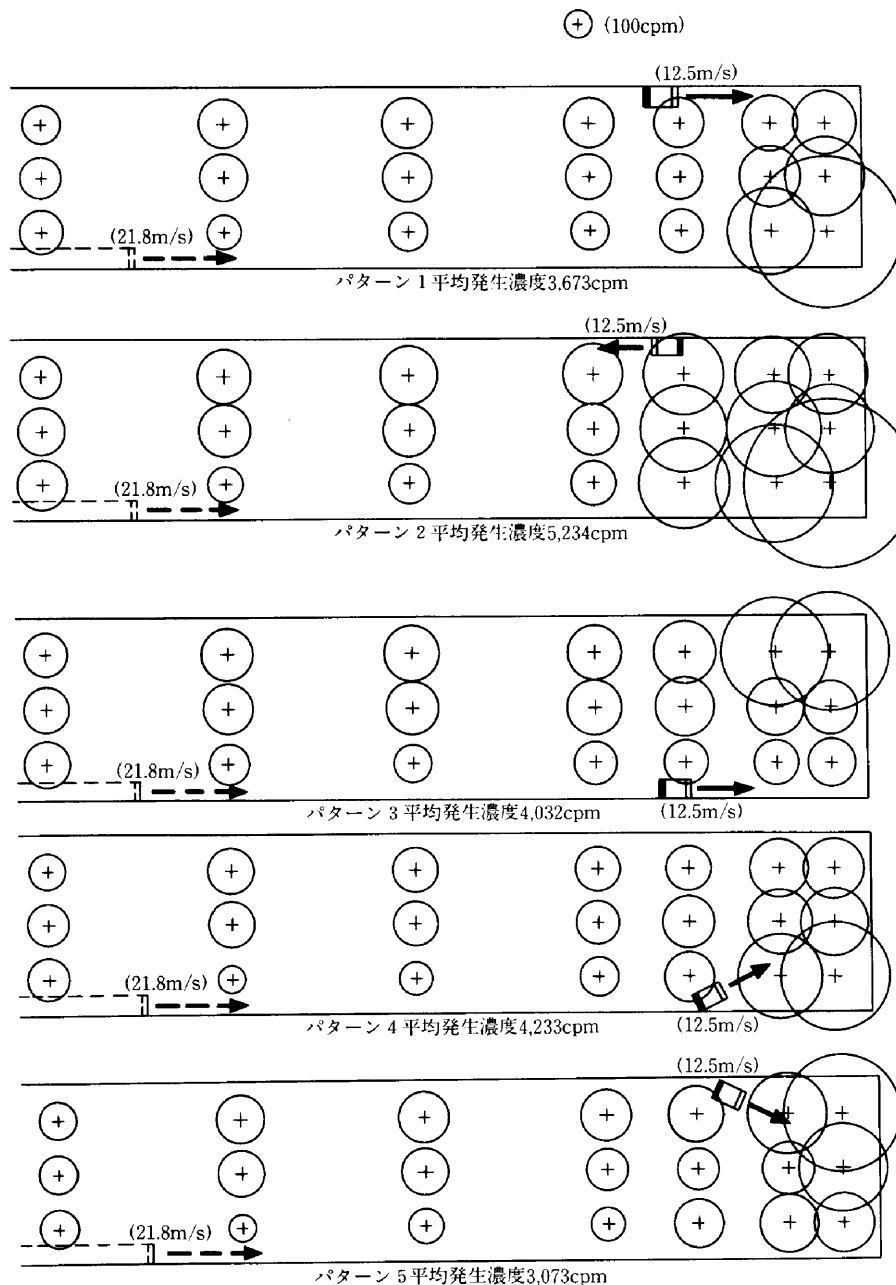


Fig.5 補助ファン位置の変化による粉塵濃度分布(実測値) (実験ケース3, 地面上1,200mm)

高濃度域に、高性能でコンパクトな集塵装置を配置したとすれば、切羽付近の作業環境は大幅に改善されるであろう。

Fig. 6 は、送・排気ダクトを有する実験ケース5のシミュレーション結果である。切羽付近では、排気ダクト入口に向かう一連の気流分布が見られ、粉塵濃度が低いと予測される。当該ケースの粉塵濃度実測値を Fig. 7 に示す。局所的な高濃度域の発生がなく、しかも坑道全域に渡って粉塵濃度が低く、シミュレーション結果と対応している。

所に形成することができた。すなわち、その位置に高性能でコンパクトな集塵装置を配置することにより、切羽付近の作業環境を清浄に維持できる。今後、実際に補助ファンでコントロールした高濃度域に、集塵装置を配置しての検討を重ねたい。

最後に、実験ヤードを提供していただいた機材部平塚製作所関係者に心から感謝の意を表す。

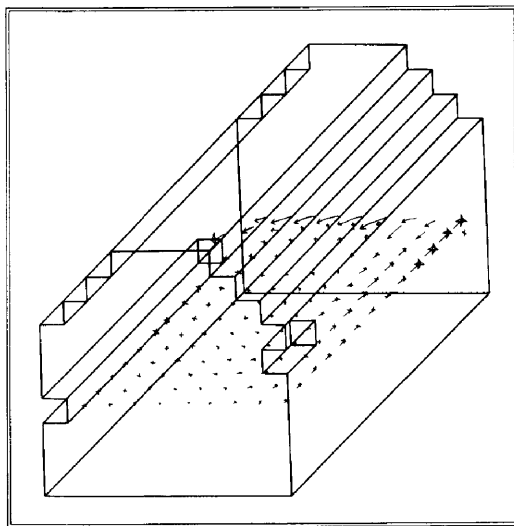


Fig.6 FLUENT/PCによる解析
(実験ケース5, 地面上1,200mm)

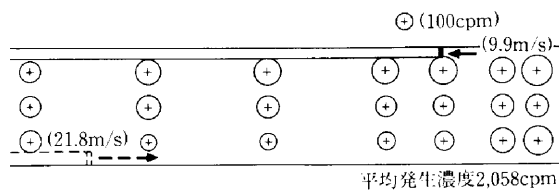


Fig.7 粉塵濃度分布(実測値)
(実験ケース5, 地面上1,200mm)

4. おわりに

工事中トンネル坑内の粉塵発生源は、主に吹付け時等の固定発生源とディーゼル機関等による移動発生源に2分される。移動発生源対策としては、発生量の低減化と坑口に向かう気流形式により対応できると考える。

本論では、切羽付近の固定発生源に対して、補助ファンと集塵装置位置のベストミックスを実験とシミュレーションにより解明した。その結果、補助ファンの位置により、切羽付近の高濃度域を任意の場