

トンネル坑内風況の現場実験と解析による検討

九州地方整備局	遠賀川河川事務所	非会員	井上 遥
西松建設株式会社		非会員	梅木清文
山口大学		学生会員	○小林大輝
山口大学		学生会員	岡崎泰幸
山口大学		正会員	森本真吾
山口大学		正会員	進士正人

1. はじめに

山岳トンネル掘削時は、掘削中や吹付けコンクリート施工時に高濃度の粉じんが発生する．空気中に浮遊する粉じんは、じん肺症という肺の機能障害を起こす危険性があると同時に、作業時の視認性が低下することにより安全性と作業効率が低減する．そのため、「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン^{1),2)}」において、粉じん濃度目標レベルを切羽から 50m 地点で 3mg/m³ 以下と定められ、吸引捕集式換気システムが提案されている．しかし、換気効率の高い適切な換気・集じん設備の配置や風量設計はいまだ未解明である．本研究では、吸引捕集式換気システムと“隔離幕³⁾”を併用している N トンネルにおいて、換気時の坑内風速と風向の現場実験を行った．これより、換気によるトンネル坑内の風況の特性を把握すると共に、再現解析を試み、効率の良い換気条件を検討した．

2. N トンネルでの実験概要

本研究で対象とした N トンネルは、全長 551m、断面積 83.2m² の 2 車線道路トンネルである．換気方式は吸引捕集方式を用いて、送気口を切羽から 30m 地点、集じん機吸引口を切羽から 45m 地点に設置した．また、トンネル坑内では、粉じん濃度低減効果を図るため、隔離幕を切羽から 50m 地点に設置した．これは、開閉可能な隔離幕と集じん機及び送気ファンから構成される圧力差を利用したトンネル坑内粉じん低減工法のひとつである．図-1 のトンネル断面図に示すように、隔離幕は断面全体を覆っているが、赤色の斜線部でのみ閉鎖・開放可能な機能を有している．

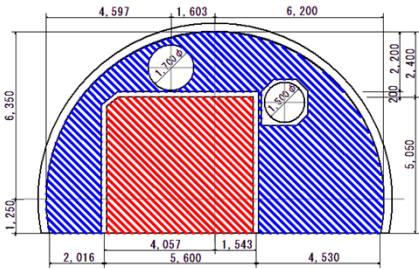


図-1 トンネル断面図

表-1 実験パラメータ

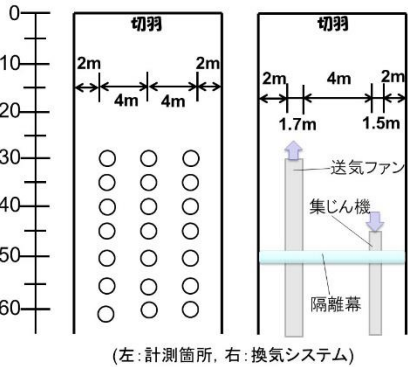
	トラベルグリーンカーテンの開閉状態	送気風量 (m ³ /min)	排気風量 (m ³ /min)	圧力差
①	閉鎖	1500	1500	平衡
②	開放	1500	1500	平衡
③	開放	1500	1800	負圧

実験は、坑内風況の確認することを目的とし、表-1 に示す計 3 ケースの実験を行った．計測箇所は、図-2 に示す通りとし、線香の煙を用いて風向、および、微風速計を用いた風速を計測した．

3. 実験結果

表-1 に示した各ケースにおいて、切羽から 30～60m 地点における換気時の風況特性を図-3 に示す．図-3 より得られた考察を以下に示す．

- ・ ケース①、②、③は、切羽から 30～50m 地点の風速は、望ましいとされる坑内断面風速 0.3m/sec 以上を確保できている．
- ・ ケース③は、②と比較すると、風量の圧力差負圧により、坑内風が切羽方向へ流れていることから、切羽から 50m 地点でエアカーテンが形成されている．



(左:計測箇所, 右:換気システム)

図-2 現場実験状況

キーワード トンネル, 粉じん, エアカーテン, 数値解析, 換気システム

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院 理工学研究科 トンネル研究室 TEL0836-85-9332

以上より、隔離幕の開閉によって、幕後方の風速はほぼ変わらないが、隔離幕を閉鎖することにより、幕前方での坑内風速は望ましい値をとることがわかった。送気風量と排気風量の圧力差が負圧であると、坑内風は切羽方向へ風が吹き、エアカーテンが形成されている。隔離幕の開閉、集じん機および送気ファンから構成される圧力差はエアカーテンの形成、望ましい坑内風速確保において、非常に重要であることが分かった。

4. 解析モデル

図-4 に示すように N トンネルを想定した解析モデルを作成し、OpenFOAM⁴⁾を用いた坑内風況状況の再現解析を行った。なお、流体は非圧縮性流体の定常乱流と仮定した。表-2 に解析条件を示す。

5. 解析結果

図-5 に解析結果を示す。風速コンターは、実験結果に比べて、全体的に高速度領域が多い。これは隔離幕の有無や、施工車両等を考慮していないことが原因として考えられる。しかし、集じん風管サイドでは、実験結果と同様に風速が早い傾向を示しており、吸引する力が大きいとわかる。また、全体として速度分布は、実験結果と近い結果を得ることができた。

- 現場と解析結果における風向の比較を以下に示す。
- ・ ケース①では、切羽面から 30、40m 地点で乱流が発生していることを再現できた。
 - ・ ケース②では、トンネル坑内風向はほとんど坑口向きであることが再現できた。
 - ・ ケース③では、トンネル坑内風向はほとんど切羽向きであり、エアカーテンが形成されていることが再現できた。しかし、現場で用いられた隔離幕を考慮していないため、一部エアカーテンから粉じんの流出が確認された。

6. まとめ

本研究では、現場実験結果及び解析結果ともに、ケース①および③が良質なエアカーテンを形成し、理想的な坑内風況であったということを明確にすることができた。しかし、解析結果は現場計測結果と完全に一致はしなかった。要因として隔離幕の有無や、施工作業時の重機等といった現場条件の不十分さが考えられる。今後、再現性を向上させた解析モデルを用いてより換気効率の良い条件を算出し、現場へのフィードバックを行いたい。

参考文献

- 1) 厚生労働省：ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン,pp322-323,2011.
- 2) 建設労働災害防止協会：新版ずい道建設工事における換気技術指針,pp66-69,2012.
- 3) (株)大林組・国土交通省：トンネル坑内の粉じん低減工法「トラベルクリーンカーテン」の開発
- 4) 桜井元康：CFD ツール(OpenFOAM)を用いた二次元急拡大流路内流れの試行計算,広島工業大学紀要研究編第 45 巻, 2011.

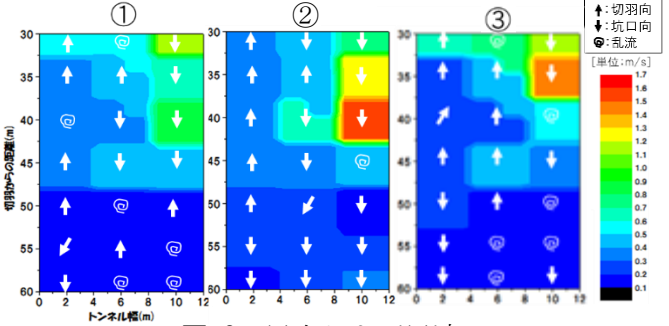


図-3 風向および風速

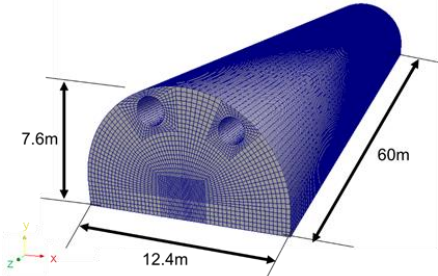


図-4 解析モデル

表-2 解析条件

乱流モデル		標準k-εモデル
解析方法		SIMPLE法に基づく有限体積法
計算スキーム		定常解析
移流項	時間項	中心差分
		SIMPLE
境界条件	流路入口	流れは流入境界 圧力はzeroGradient(dp/dx=0)
	流路出口	流れは流出境界 圧力はzeroGradient(dp/dx=0)
	流路出入口	流れはzeroGradient(自由流入・流出) 圧力はp=0(基準値)
	壁面	流れは滑りなし(u=0) 圧力はzeroGradient(壁の垂直方向圧力勾配が0)

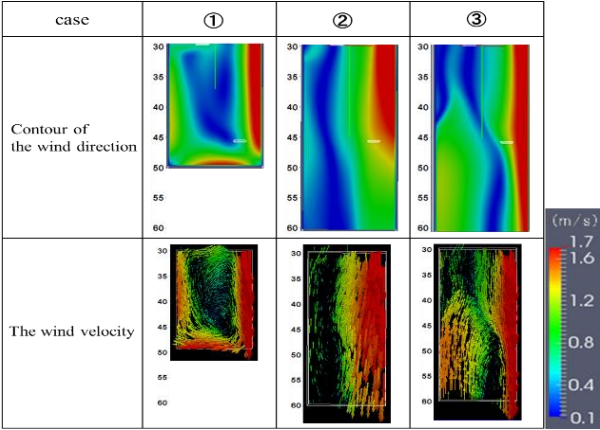


図-5 解析結果