

トンネル切羽付近の空気質改善を目的とした 新換気システムの測定による評価

柴田 勝実¹・樋渡 潔²・国分 茂夫³

¹正会員 大成建設株式会社 土木本部土木技術部 (〒163-0606東京都新宿区西新宿1-25-1)

E-mail: katu@ce.aisei.co.jp

²大成建設株式会社 技術センター (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1)

E-mail: kiyoshi.hiwatashi@sakura.aisei.co.jp

³大成建設株式会社 東北支店 (〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町3-1-1)

E-mail: s-kokubu@ce.aisei.co.jp

山岳トンネル切羽付近では、岩盤穿孔や吹付けコンクリート、発破後ガスなど、空気質を悪化させる汚染物質を発生させながら施工を進めざるを得ない。この環境を改善するため、様々な換気システムが適用されているが、切羽付近の空気質改善効果が高いとされる送気・吸引捕集方式を採用する事例が多い。

しかしながら、本方式は送気風管先端から吐出する風速が速いと、切羽で発生する粉じんを拡散させてしまい、排気風管に効率的に捕集されないことが指摘されている。

著者らは、これまで送気・吸引捕集方式をベースにした新たな換気システム（並列円筒面送気口方式）についてCFD解析により検討を行ってきたが、本報では新換気システムを現場に適用し、その効果について測定を行った結果について報告する。

Key Words : ventilation system, air curtain, improvement of air quality, measurement, in-situ

1. はじめに

山岳トンネル切羽付近では、岩盤穿孔や削岩、吹付けコンクリート、重機車両の排気ガス、発破後ガスなど、空気質を悪化させる様々な汚染物質を発生させながら施工を進めざるを得ない。このため、空気質の改善を図るために厚生労働省は、「「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」において、切羽後方50m地点における粉じん濃度目標レベルを $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下とすることを求めている。

現在、坑内換気システムには様々な方式があり、作業環境に応じた手法が選ばれているが、切羽付近の空気質改善効果が高いとされる送気・吸引捕集方式を採用する事例が多い。

しかしながら、従来の送気・吸引捕集方式では切羽面から送気口までの距離が近いと、切羽付近で発生する粉じんを拡散させてしまい、粉じんが排気風管に効率的に捕集されないことが指摘されている¹⁾。

また、物理的な隔壁を設けて影響を排除する方法も考えられるが²⁾、トンネル施工現場では、切羽付近で大型機械を入れ替えながら施工するため、最適な改善策とは必ずしも言えない。

著者らは、これまで送気・吸引捕集方式をベースにした新換気システムを提案してきた^{3)~5)}。新換気システムは、集じん機からの排気を利用し、円筒面送気口を同一横断面に並列に設置する方式である（円筒面送気口方式）。これまで、CFD解析（Computational Fluid Dynamics）による検討を行い、 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の粉じん濃度の領域が従来の送気・吸引捕集方式に比べて60%低下すること、また、切羽から50m後方での粉塵濃度は約1/10に低下し、捕集率は31%向上するという結果を得た。

本報では新換気システムを現場に適用し、その効果について測定を行った結果について報告する。

2. 新換気システムの概要

図-1に従来の換気システムの送気・吸引捕集方式および新換気システムである並列円筒面送気方式の概念図を示す。従来の換気システムである送気・吸引捕集方式では、送気量 Q_1 よりも集じん装置を経由した排気量 Q_2 を多くすることで、 $\Delta Q = Q_2 - Q_1$ の空気量が集じん機排気口から切羽方向に向かって流れる。この空気の流れが

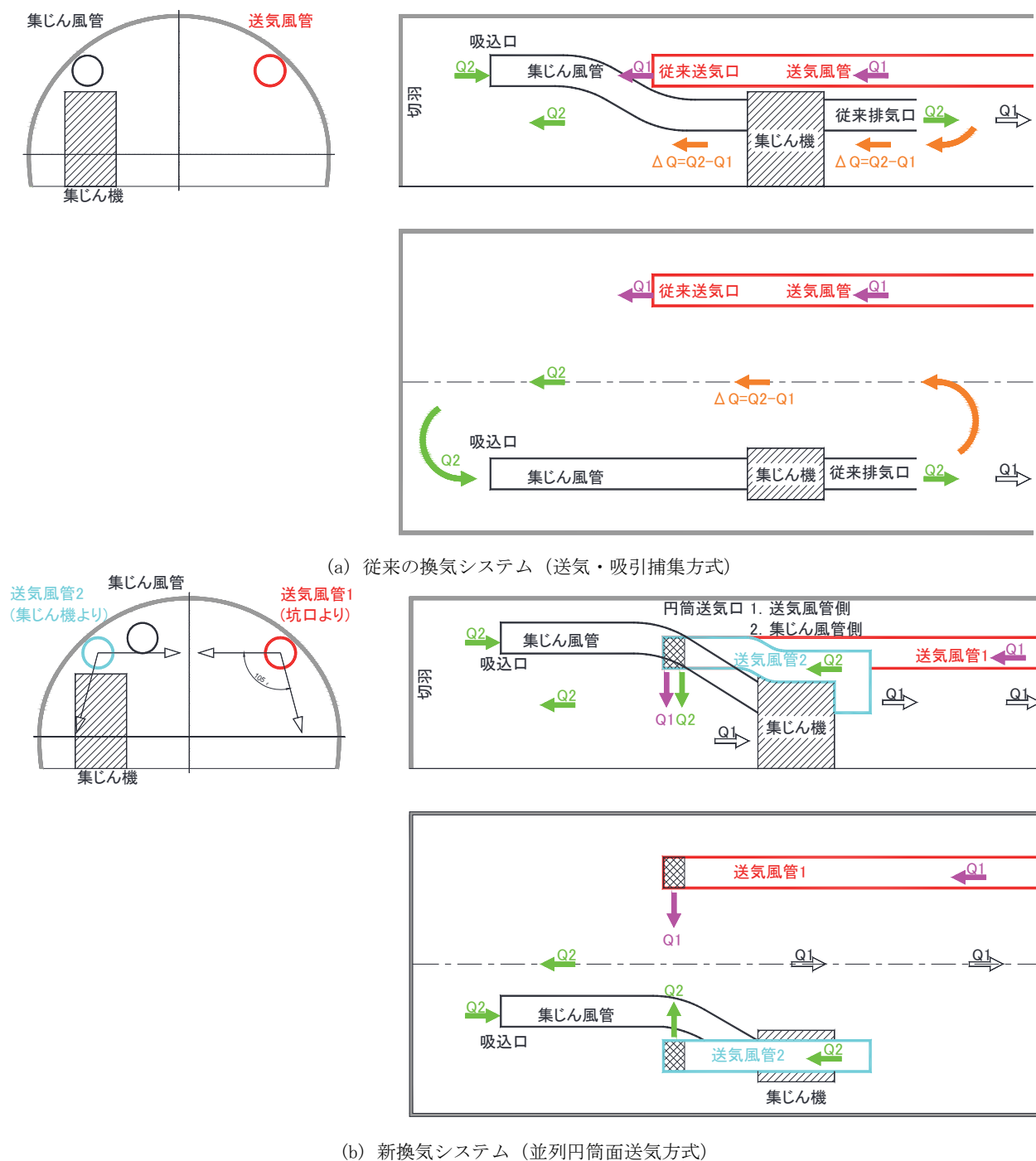


図-1 従来の換気システム（送気・吸引捕集方式）と新換気システム（並列円筒面送気方式）の概念図

エアカーテンとなり、切羽付近で発生した粉じんを切羽付近に封じ込め、坑内に拡散することを抑制する。

一方、新換気システムの並列円筒面送気方式は、2つの送気風管を設置していることを特徴とする。一方の送気風管は坑口から外気を導入しており、他方の送気風管は、集じん風管吸込み口から吸い込んだ空気を、集じん機を経て再び送気している。

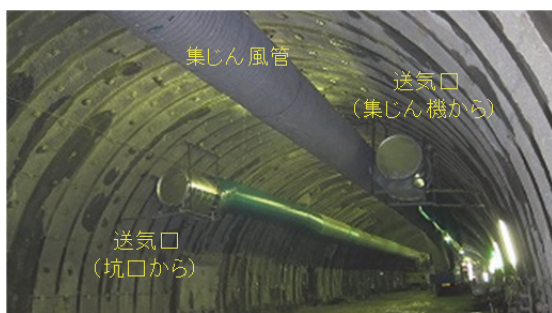
送気口の先端は、円筒面に設けており、横断面方向に吐出する。2ヶ所の送気口は、同一横断面に左右対称に配置されエアカーテンを形成している。

写真-1に新換気システムの設置状況を示す。

3. 測定概要

(1) 対象トンネル

国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所管内のトンネルに設置し測定を行った。



(a)送気口および集じん風管配置



(b)送気口(坑口から)

写真-1 新換気システム（並列円筒面送気方式）の設置

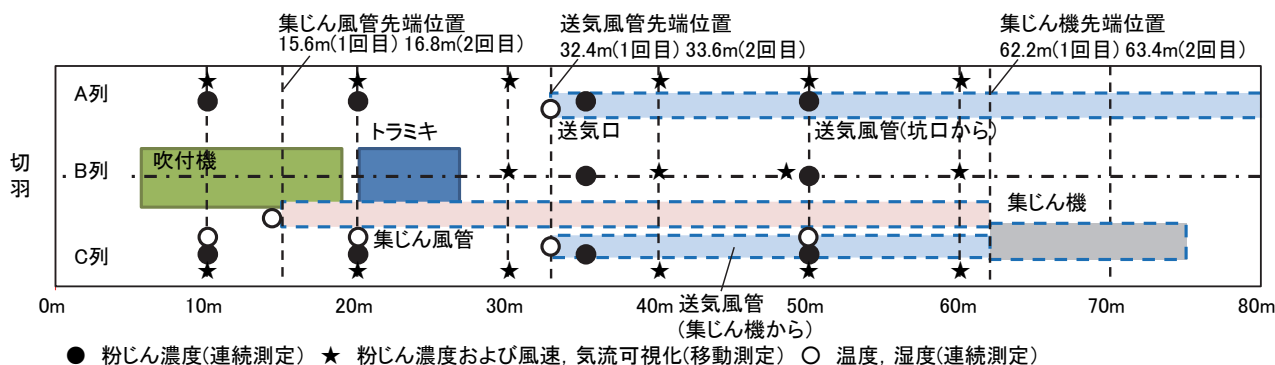


図-2 換気システムの配置および各種測定点位置

表-1 測定項目, 測定機器および測定方法

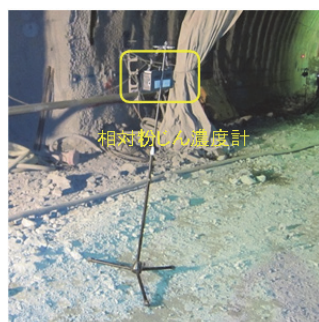
	測定項目	測定機器	測定方法
1	粉じん濃度	相対粉じん濃度計: LD-3K2(柴田科学)	連続測定 移動測定
3	温湿度	温湿度計: おんどとり TR-72Ui (T&D)	連続測定
4	トンネル内風速 送気および集じん風量	風速計: Model6542(日本カノマックス)	移動測定
6	気流可視化	煙検知管: スモークテスタ 501 (ガステック)	移動測定

(2) 換気システムの配置および測定項目

測定は、2次吹付け作業時を対象に2回行った。図-2に換気システムの配置および各種測定項目の測定点を示す。表-1に測定項目, 測定機器および測定方法を示す。坑口からの送気風管と集じん機からの送気風管の先端位置は切羽から32.4m (1回目), 33.6m (2回目)の位置, 集じん風管の吸込み口は切羽から32.4m (1回目), 33.6m (2回目)の位置に置した。切羽側の集じん機の位置は切羽から62.2m (1回目), 63.4m (2回目)の位置である。連続測定の測定点も, 切羽面の掘削の進展に伴い, 1.2m変化している。

坑口からの送気風量は1 855m³/min., 集じん機からの送気風量は, 1 856m³/min.である。

トンネル内環境の測定は, 相対粉じん濃度, 温湿度,



(a)相対粉じん濃度計設置状況



(b)風速測定状況

写真-2 測定状況

トンネル内風速, 気流可視化について行った。写真-2に測定状況を示す。

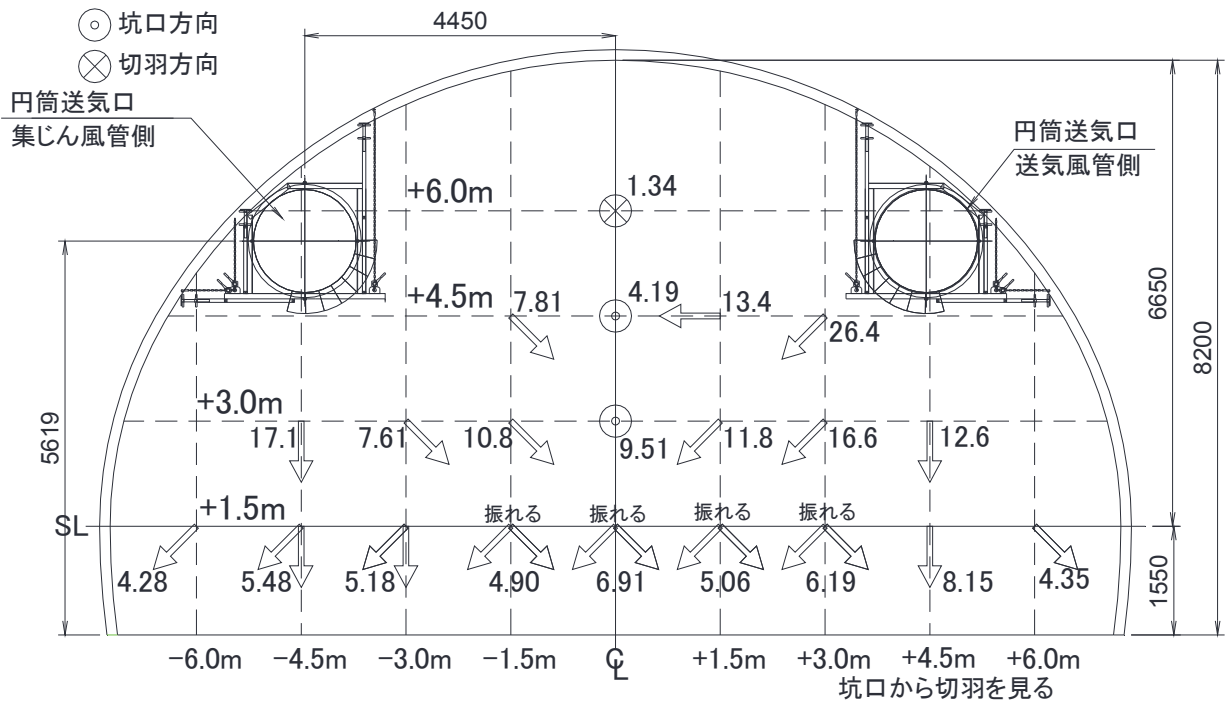


図-3 送気口部における横断面の風速分布及び気流方向（単位：m/s 風速は1秒間隔で10回測定の平均値）

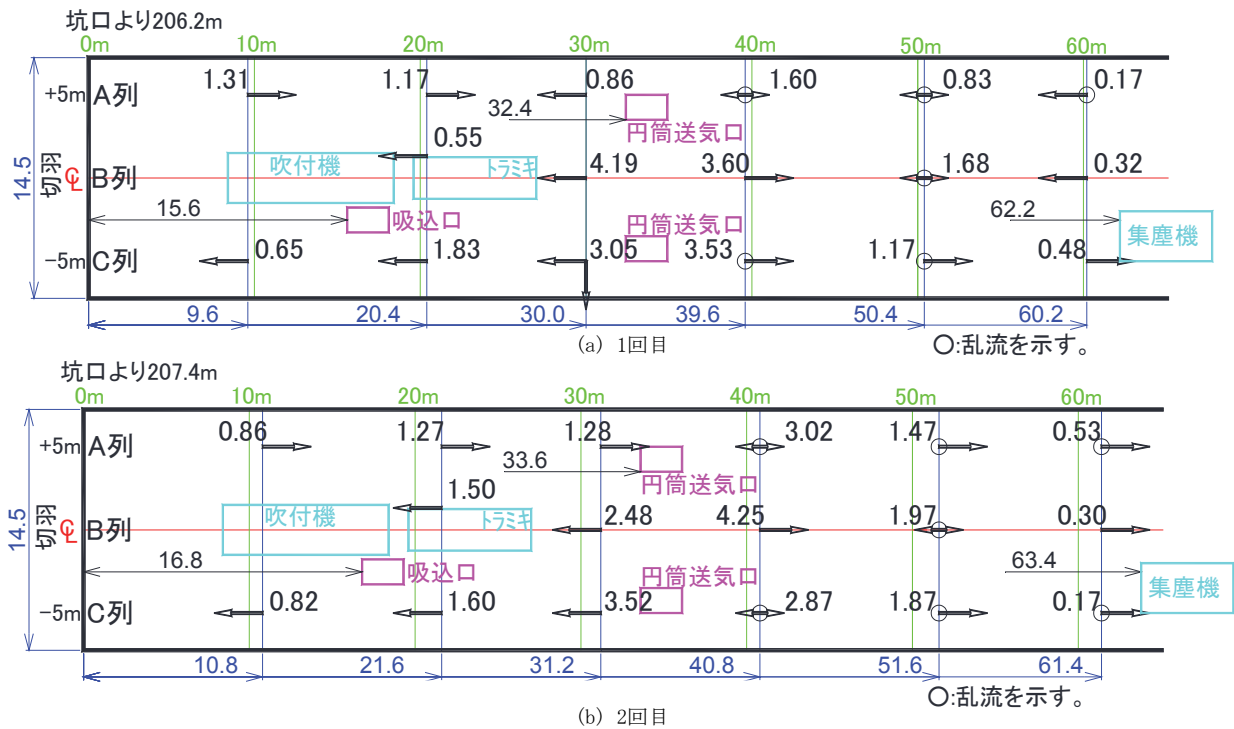


図-4 切羽から60mまでの風速および気流方向分布（高さH=1.5m）（単位：m/s 風速は1秒間隔で10回測定の平均値）

4. 実験結果

(1) 送気口横断面の気流性状

図-3に送気口部における横断面の風速分布及び気流方向を示す。風速は、1秒間隔で10回測定した値の平均値である。なお、作業の制約上、測定は吹付け作業を行っていない時間帯に行っている。左右対称に設置した2ヶ

所の送気口からの吐出空気は、送気口高さから下のエリアについては、概ね左右対称にエアカーテンが形成されていることが分かる。風速は、送気口付近で約25m/s、H=1.5の高さで、5～6m/sであり、大きな風速が維持されている。気流方向については、送気口付近では送気方向と同じ向きとなるが、地面に近いH=1.5mでは左右に振れる箇所が多い。これは、地面に近くなったことと、風

速が弱まったことにより、2ヶ所の吐出気流が影響しあっているためだと考えられる。中央部の高さ $H=3m$ 、 $4.5m$ では、衝突した空気が切羽方向に向かう気流が見られるが、送気口より高い $H=6.0m$ では、風速は小さいながら坑口方向に向かう気流となっている。

(2) 切羽から60mまでの気流性状

図-4に切羽から60mまでの風速および気流方向分布($H=1.5m$)を示す。1回目と2回目いずれも、送気口から切羽の領域においては、C列およびB列の空気は切羽方向に向かっているのに対して、A列の空気は坑口側に向かっており、風速は $1m/s$ 前後である。これは当初の想定とは違っており、重要な違いだと考えられる。現場状況から、後述する2ヶ所の送気口の吹出し温度の差、また重機の発熱などで生じる切羽付近での温度分布がこのような気流を作っている可能性がある。

送気口から坑口側の領域の送気口に近い部分については、気流が定まらない部分があるものの大枠としては、坑口側へ流れている。しかし、送気口より離れた部分については、坑口から切羽に向かった流れもみられる。風速が、送気口付近から離れるに従い減少し、切羽から60m付近で $0.5m/s$ 前後の風速を示したことも併せて考えると、外気の影響を受けたためと考えられる。

(3) 粉じん濃度

図-5に、切羽から60mまでの粉じん濃度分布($H=1.5m$)を示す。なお、粉じん濃度は、 $K=0.002$ として求めた値である。切羽から約50mの地点の濃度は、1回目は $1.3\sim$

$1.7mg/m^3$ 、2回目は $0.9\sim1.1mg/m^3$ を示し、ガイドラインの濃度よりも低い値を示す。

1回目と2回目とも粉じん濃度は切羽付近が一番大きく、坑口に向けて順序良く小さくなっている。これは、エアカーテンにより封じ込めが効果的に行われていることを示している。送気口から60mの領域の粉じん濃度は、切羽からの距離が変わってもほぼ同程度の粉じん濃度を示す。これは、エアカーテンを超えた粉じんが一定量あり、均等に坑口方向に流れていることを示している。

図-6に粉じん濃度の経時変化を示す。なお、粉じん濃度は、 K 値を 0.002 に設定し求めた値である。切羽から10m、20mの地点では、吹付け作業の粉じん濃度は $8\sim16mg/m^3$ を示すが、35m、50m地点では、約 $1\sim2mg/m^3$ の一定の値を示している。送気口を境に明らかに粉じん濃度が異なっており、エアカーテンが確実に生成されていることがわかる。またガイドラインの目標値である $3.0mg/m^3$ よりも低い値を達成しており、本換気システムの有効性が確認できる。

(4) 温度

図-7に各測定点の温度および湿度の経時変化を示す。

坑口からの送気口の吹出し温度は約 $20^{\circ}C$ 、集じん機からの送気口の吹出し温度は約 $30^{\circ}C$ を示し約 $10^{\circ}C$ の温度差がある。トンネル内温度は、1回目の20mの一部温度上昇の理由は不明であるが、概ね約 $20\sim25^{\circ}C$ を示す。

坑口からの送気の吹出し温度は約 $40\sim50\%$ 、集じん機からの送気口の湿度は約 30% を示す。トンネル内の湿度は、約 $35\sim45\%$ の範囲である。

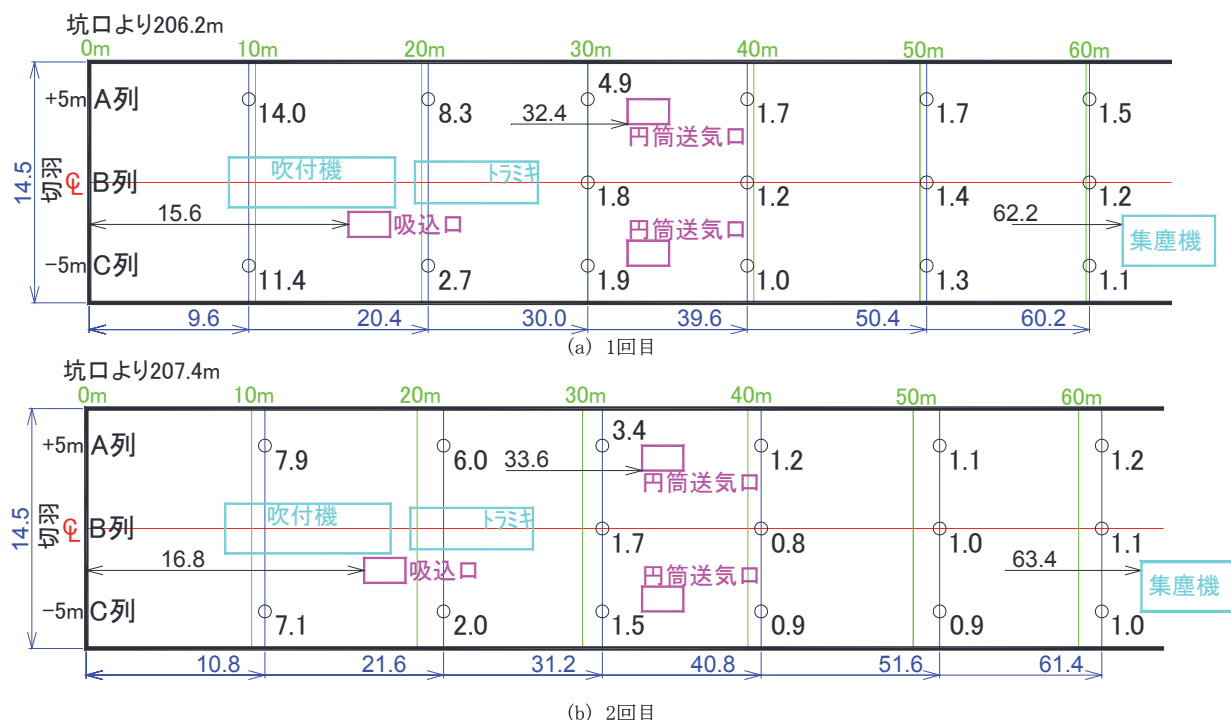


図-5 移動測定による作業域における粉じん濃度 (高さ $H=1.5m$ 単位: mg/m^3)

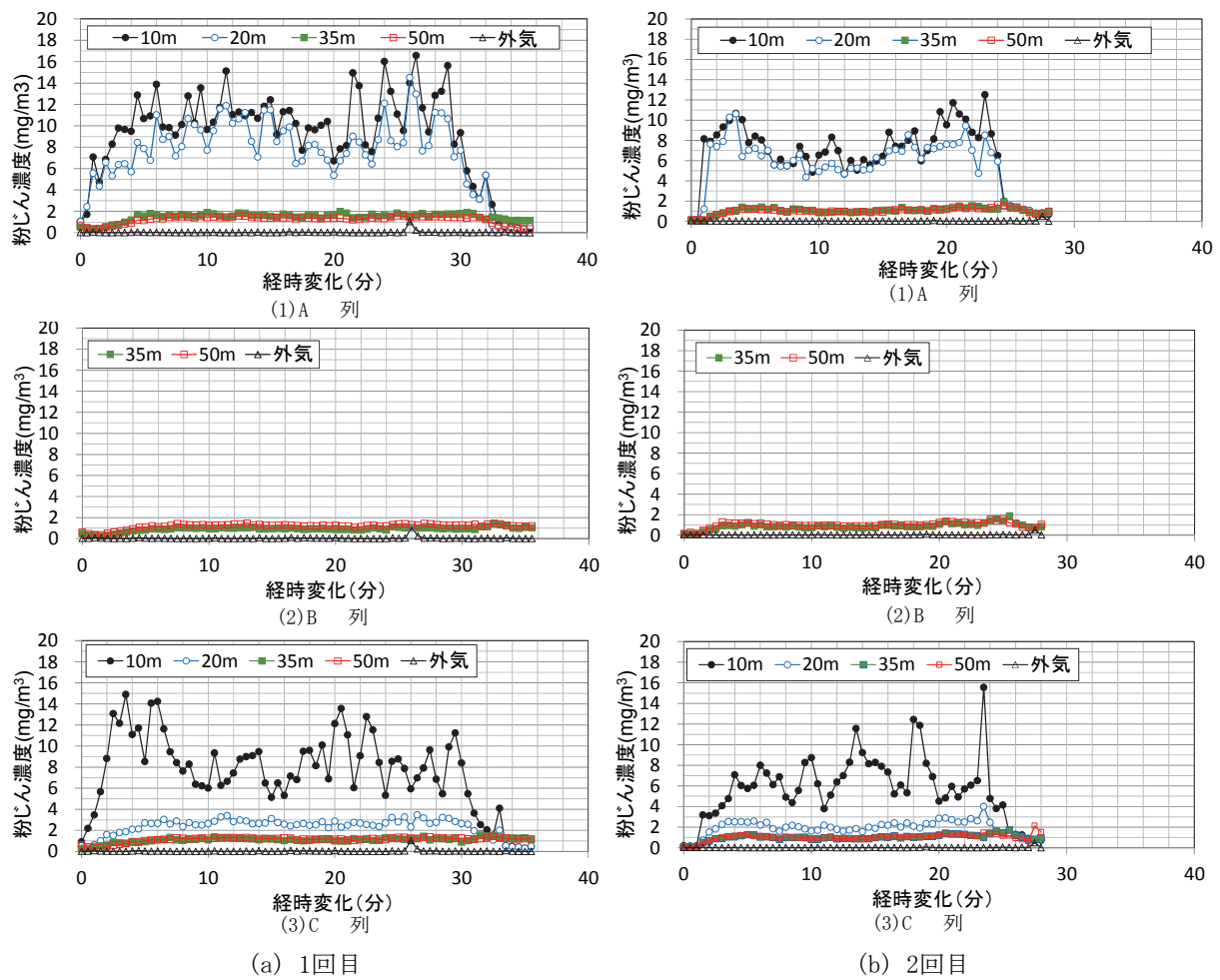


図-6 粉じん濃度の経時変化 (K=0.002)

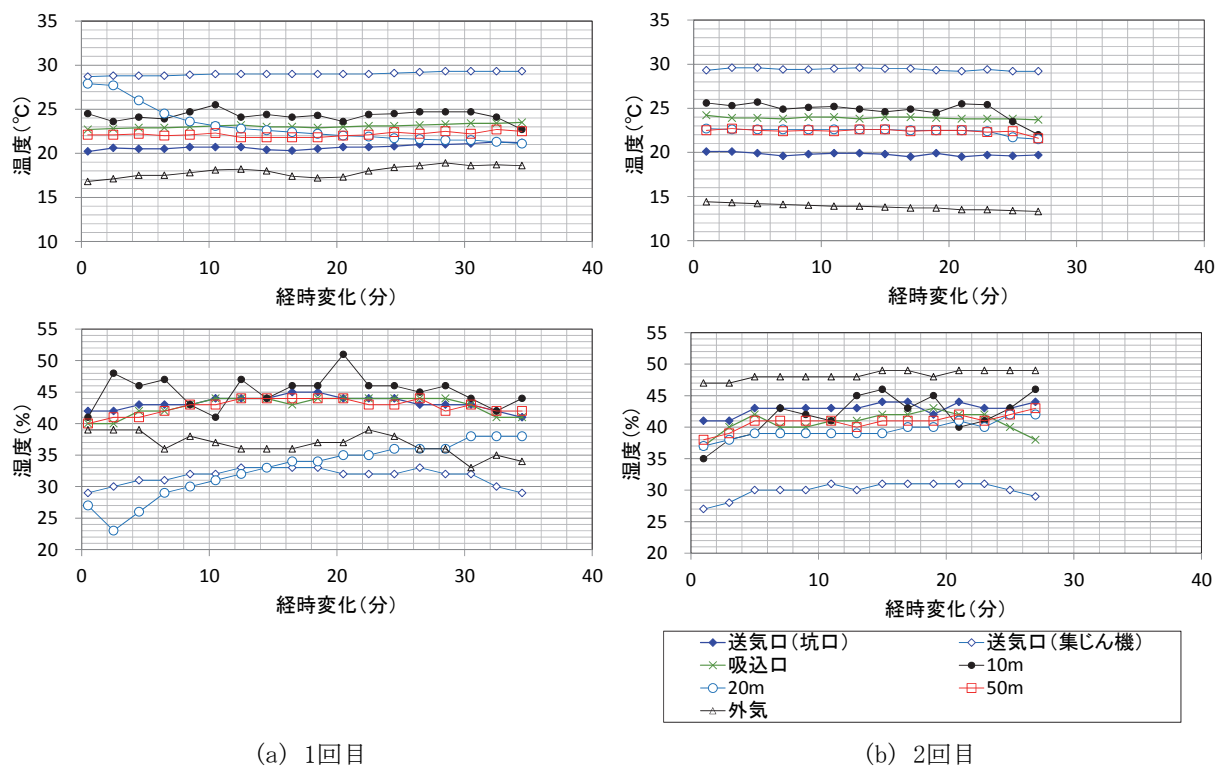


図-7 各測定点の温度および湿度の経時変化

5. 結論

本報告では、トンネル切羽付近の空気質改善を目的とし新換気システムを現場に設置し、その測定を行った結果について報告した。以下に得られた結論を示す。

- ・左右対称に設置した2ヶ所の送気口からの吐出空気は、エアカーテンの対象領域に設定した送気口高さから下のエリアについては、概ね左右対称にエアカーテンが形成されていることが分かった。中央部上部では、坑口方向に向かう気流、切羽方向に向かう気流が見られた。
- ・従来の送気・吸引捕集方式による粉じん濃度は、送気風管から切羽35m、50m地点において、約1~2mg/m³の値を示しガイドラインの目標値である3.0mg/m³よりも低い値を達成し、本換気システムの有効性を確認した。

また今後の課題として挙げられるのは気流方向の制御である。当初の予想としては吸込み口の影響はあるものの総じて同一横断面上は同じ気流方向であると考えていた。結果としては、図が示すように同一の気流方向ではなく複雑な気流を示していた。このような流れを生じる要因を分析し、均一な気流をつくることにより本換気システムの効果を上げていきたいと考えている。

謝辞：本検討を行うにあたり、（株）流機エンジニアリングの田中誠氏、廣木有作氏には多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 前田全規，真下義章，田中誠，酒井健二：トンネル換気システム改善への取組，土木建設技術発表会2013 概要集，
- 2) 諏訪蘭和彦，荒川晃士，中村亮，西本卓生：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」の適用，土木学会第 67 回年次学術講演会，VI 部門，pp.125-126，2012.
- 3) 文村 賢一，樋渡 潔，国分茂夫，佐藤大樹，中原史晴：トンネル切羽付近の空気質改善を目的とした新換気システムの提案，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.69，VI-009，pp.17-18，2014.
- 4) 文村 賢一，樋渡 潔，国分 茂夫，佐藤 大樹，中原史晴：トンネル切羽付近の空気質改善を目的とした換気システムの検，土木学会論文集 F1（トンネル工学），Vol.70，No.3（特集号），I_65-I_74，2014 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，pp.110-119，1996.
- 5) 樋渡 潔，文村 賢一，国分茂夫，佐藤大樹，中原 史晴，谷 卓也：トンネル切羽付近の空気質改善を目的とした換気システムの開発，大成建設技術センター，No.47，pp.45-1-6，2014.

(2015.8.7受付)

EVALUATION OF NEW VENTILATION SYSTEMS FOR THE AIR QUALITY IMPROVEMENT AT THE TUNNEL FACE BY IN-SITU MEASUREMENT

Katsumi SHIBATA, Kiyoshi HIWATASHI and Shigeo KOKUBU

In a mountain tunnel excavation, the air environment is worsened by the various types of dusts generated with rock drilling, blasting, mucking and shotcreting. In general, the various ventilation systems are applied for improvement of air quality around the tunnel face.

We have suggested the new ventilation system which has three ventilation ducts. One duct is for vacuuming polluted air at face. Two ducts are for sending fresh air from portal and the exhaust pipe of the dust collector. The direction of two ducts are not toward to the face but toward to center of the tunnel.

In this paper, we describe the effect of this system through the result of in-situ measurement data.