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討

文村 賢一¹・樋渡 潔²・国分 茂夫³・佐藤 大樹⁴・中原 史晴⁵

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: fumimura@ce.taisei.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.taisei.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.taisei.co.jp

⁴ 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: stutik00@pub.taisei.co.jp

⁵ 大成建設株式会社 横浜支店 (〒220-0012 神奈川県横浜市西区みなとみらい3-6-3)
E-mail: fumi@ce.taisei.co.jp

山岳トンネル切羽付近では、岩盤穿孔や吹付コンクリート、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えない。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。

本報では、送気、吸引捕集方式をベースに、2種類の新たな換気システム（並列円筒面送気口方式および直列送気口方式）を提案し、CFD解析を用いて、その有効性を確認した。2種類の換気システムは、いずれも、従来の送気、吸引捕集方式に対して、発生粉じんの捕集率で比較すると約30%～35%性能が向上した。

Key Words : ventilation system, air curtain, improvement of air quality, computation fluid dynamics

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えない。このため、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、送気、吸引捕集方式では送気口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、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⁾。

本報では、まずはじめに、CFD解析 (Computational Fluid Dynamics) を用いて、従来の送気、吸引捕集方式の換気性能を把握する。次に、換気性能の向上を図るための方法として、送気、吸引捕集方式をベースに、送気風管先端の送気口形状が換気性能に与える影響について検討を行う。そのうち、送気口の配置も含めて2種類の新たな送気、吸引捕集方式をベースにした換気システムを提案し、その有効性を検討する。

2. 解析概要

(1) 計算ケースおよび検討手順

表-1に計算ケースを示す。

Case1は従来方式の送気、吸引捕集方式である。この方式では、送気量 (Q1) よりも集じん装置を経由した

表-1 計算ケース

ケース	送気口 形状・配置	模式図	
		横断面	縦断面
Case 1	従来送気口
Case 2	円筒面送気口 吹出し範囲 120°
Case 3	矩形送気口 幅 : 3.0m 奥行き : 0.5m
Case 4	矩形送気口 幅 : 3.0m 奥行き : 1.0m
Case 5	矩形送気口 幅 : 3.0m 奥行き : 1.5m
Case 6	矩形送気口 幅 : 3.0m 奥行き : 2.0m
Case 7	並列円筒面 送気口 吹出し範囲 120°
Case 8	直列矩形 送気・排気口 幅 : 3.0m 奥行き : 1.5m

図-1 解析モデル(Case1)

排気量(Q2)を多くすることで、 $\Delta Q=Q2-Q1$ 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。この空気の流れにより、集じん風管吸込み口付近に形成されたエアカーテンが切羽付近で発生した粉じんを切羽付近に封じ込め、坑内に拡散するのを抑制することを意図している。

しかしながら、送気口から切羽に向かって吐出する風速が速いと、切羽で発生する粉じんを坑内に拡散させて、集じん風管で効率的に捕集されないことが指摘されており、ここではその課題点の把握を行う。

Case2は、既往文献¹⁾においても効果が確認されている、送風管先端部分の円筒面から送気する方法である。なお、ここでは、 120° の範囲に送気する。この送気空気により、トンネル横断面にエアカーテンを形成する。ここでは、後述の提案システムへの活用のために、その特性を把握する。

Case3～Case6については、送気管先端に幅3.0mの送気口を設置する方式である。送気空気は、矩形送気口部分に設けたガイドベーンにより、トンネル通路幅全体をカバーするように吹き下ろし、エアカーテンを形成する。

横断面方向にエアカーテンを形成させる場合、エアカーテンの厚さ(送気口の奥行き)と吐出風速が重要である。吐出風速が高くても、エアカーテンの厚さが薄い場合、エアカーテンが十分に形成されないことがある。またエアカーテンの厚さが厚くても、吐出風速が低い場合も、同様にエアカーテンが十分に形成されないことがある。ここでは矩形送気口の場合について、後述の提案システムの送気口形状を決めるために、送気風量が一定の条件で、粉じん濃度が良好となる様に、送気口の奥行き、吐出風速を変えて検討を行う。

Case7は、1つ目の提案換気システムである。このシステムでは、集じん風管吸込み口から吸い込まれた空気が、集じん機を経て再び送気風管と同一横断面から排気(送

図-2 トンネル断面および風管配置

気)される。2箇所を送気口の形状は、Case2で特性を把握した円筒面である。送気口を2箇所にする事でエアカーテンの強化を図っている。なお、送気口の形状として矩形送気口の場合についても検討を行ったが、想定した性能が得られなかったのでここでは省略する。

Case8は、2つ目の提案システムである。このシステムでは、集じん機から排気される空気を、送気口と同じ矩形形状の排気口から排気する。そのことにより、集じん機付近でも吹き下ろし空気によるエアカーテンを形成し、坑口側からの汚染物質の影響も減らすことが可能である。

なお、いずれのケースも集じん風管吸込み口-切羽面間、送気口-切羽面間、集じん機-切羽面間の距離は、各々15m、30m、80mに設定している。

(2) 解析モデル

図-1にCase1の場合の解析モデルを示し、図-2にトンネル断面(断面積は 109.0m^2)および風管配置を示す。解析領域は、境界条件の影響が切羽付近の気流性状に影響を与えない十分な距離として後方500mとした。また、汚染物質を切羽面全体から発生させた。

換気設備の諸元は、送気空気および集じん空気は全ケースにおいて各々 $2,400\text{m}^3/\text{min}$ 、 $3,000\text{m}^3/\text{min}$ である。

(3) 解析条件および境界条件

表-2に計算条件および境界条件を示す。解析は等温状態について行う。濃度解析は、粉じんの重力沈降速度を考慮して行う。粒径は、 $10\mu\text{m}$ に設定する。なお、 $10\mu\text{m}$ 程度までの粒子は気流に伴った流れを示す^{2,3)}。

また、切羽面から発生する粉じん量は、Case1(従来送気口)の解析で得られた切羽後方50mの中央の地点で $3.0\text{mg}/\text{m}^3$ となるよう設定する。

3. 解析結果および考察

(1) 解析結果

図-3にCase1(従来送気口), Case2(円筒面送気口), Case5(矩形送気口 幅3.0m, 奥行き1.5m), Case7(並列円筒送気口), Case8(直列矩形送気, 排気口 幅3.0m, 奥行き1.5m)における送気口気流の流線を示す.

図-4に, 各Caseにおける切羽面から60mの距離までの濃度分布コンター(底盤から高さH=1.5m平面)を示す.

表-3に切羽から50m後方までの領域での粉じん濃度が $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以上および $1\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の濃度の面積比率の比較(底盤から高さ H=1.5m平面)を示す. また $3\text{mg}/\text{m}^3$ はガイドラインで示される基準値である. ガイドラインでは, 側壁から 1m 以上離れた点を測定点として定めている. 本報では, その点を考慮し, 側壁付近の面積は除き, 横断面方向の幅 13m の範囲に設定する.

また表-4に発生汚染物質質量に対する集じん風管での捕集率を示す.

(2) 従来送気口 (Case1) の特性の把握

a) 気流性状

図-3 の Case1 に従来送気口のトンネル切羽付近の流線を示す. 送気口から送気される新鮮な空気は, 速い風速で吐出されることで, 切羽付近の空気が攪拌されている. また, 切羽面に衝突した気流が折り返して, 集じん機まで到達している.

b) 粉じん濃度

図-4 の Case1 に切羽面から 60m 後方までの粉じん濃度分布コンターを示す. 濃度分布は, トンネル横断面の送気風管が設置されているサイドの粉じん濃度が低く, 集じん風管を設置しているサイドの粉じん濃度が高くなっており, エアカーテンが形成されていない.

次に, 図-5 に切羽面からの距離と粉じん濃度の関係を示す. 粉じん濃度は, 切羽面付近で約 $4\text{mg}/\text{m}^3$, 50m の距離では約 $3\text{mg}/\text{m}^3$ を示している.

表-3 の Case1 に切羽面から 50m 後方までの領域における $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以上および $1\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の濃度の面積比率の比較によると, 領域内で $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の濃度を示す領域は, 54%と約半分の領域を占め, $1\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の領域は見られない.

c) 捕集率

表-4 の Case1 に示した発生汚染物質質量に対する集じん風管での捕集率は, 60%である.

d) まとめ

本項では従来の送気, 吸引捕集方式の性能把握を行った. その結果, 既往の文献¹⁾で示されたように, 送気口から速い風速で切羽方向に送気すると, エアカーテンが形成されないことが示された. この現象への改善

表-2 計算条件および境界条件

解析メッシュ	約4,300,000~6,080,000 (流体要素のみ)
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定常解析
差分スキーム	移流項MARS(2次精度)
流入境界	$k_{in}=(U_{in}/10)^2$, $\varepsilon_{in}=C_\mu \cdot k_{in}^{3/2}/L$ L:吹出幅 $C_\mu=0.00016$
流出境界	坑口側端部は流出境界
境界条件	壁面は一般化対数則
温度条件	等温
送気風管・集じん風管	送気風量: $2400\text{m}^3/\text{min}$. 集じん風量: $3000\text{m}^3/\text{min}$.
送気口風速	Case1: 19.9m/s, Case2: 14.9m/s, Case3: 30.5m/s, Case4: 15.3m/s Case5: 10.2m/s, Case6: 7.6m/s Case7: 14.9m/s(2ヶ所), Case8: 10.2m/s
集じん風管吸込み口風速	Case1-8: 28.3m/s
集じん機排気口風速	Case1-6: 28.3m/s Case8: 10.2m/s
切羽面粉じん発生量	$2.77\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ Case1で切羽から50mの点で $3\text{mg}/\text{m}^3$ で設定
集じん機集じん効率	100%
粉じんの重力沈降速度	$6.92 \times 10^{-3}\text{m/s}$ (設定粒径: $10\mu\text{m}$)

策として, 送気風管先端位置をエアカーテンの形成に影響を与えない位置まで遠ざけることや, 物理的な隔壁を設けて影響を排除する方法が考えられるが, 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. そこで以下の検討では, 送気, 吸引捕集方式をベースに改善方法を検討する.

(3) 円筒面送気口 (Case2) の特性の把握

a) 気流性状

図-3 の Case2 に円筒面送気口のトンネル切羽付近の流線を示す. 送気口から吐出される新鮮な空気は, 床面方向に吐出されるため, 切羽面には直接衝突しない. エアカーテンから漏れて集じん機に向かう気流の流線は減少している.

b) 粉じん濃度

図-4 の Case2 に切羽面から 60m の距離までの粉じん濃度分布コンターを示す. 濃度分布は, Case1 に比べて濃度が高い領域がほぼ切羽から 15m の位置, すなわち集じん風管の設置されている位置までに抑えられている. しかしながら, 集じん機が設置されているサイドについては, 切羽面から 60m の距離においても濃度が上昇しており, エアカーテンから一部粉じんが漏れていることが分かる.

次に, 図-6 に切羽面からの距離と粉じん濃度の関係を示す. 粉じん濃度は, 切羽面付近で約 $6\text{mg}/\text{m}^3$, 50m の距離では約 $0.4\text{mg}/\text{m}^3$ と Case1 の約 1/7 を示しておりエアカーテンの効果がみられる.

図-3 送気口 airflow の流線(Case1, Case2, Case5, Case7, Case8)

表-3 の Case2 に切羽から 50m 後方までの領域における粉じん濃度が $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以上および $1\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の濃度の面積比率を示す。領域内において $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の濃度を示す領域は 24%であり Case1 に比べて 56%減少している。一方、 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の領域は 38%に増加している。

c) 捕集率

表-4 の Case2 に発生汚染物質質量に対する集じん風管での捕集率を示す。捕集率は 87%と 45%増加している。

d) まとめ

以上の結果から、円筒面から送気することでエアカーテンが形成され、空気質が改善することが示された。

図-4 各ケースにおける切羽面から 60m 後方までの濃度分布コンター(底盤から高さ H=1.5m 平面)

表-3 切羽面から 50m 後方までの領域における粉じん濃度が 3mg/m³ 以上および 1mg/m³ 未満の濃度の面積比率の比較
(底盤からの高さ H=1.5m)

送気方式			領域面積比率(%)*	
			カッコ内は領域面積(m ²)**	
			3mg/m ³ 以上	1mg/m ³ 未満
Case1	従来送気口		54% (354 m ²)	0% (0m ²)
Case2	円筒面送気口		24% (158m ²)	38% (248m ²)
Case3	矩形送気口	幅: 3.0m 奥行き: 0.5m	26% (170m ²)	45% (291m ²)
Case4		幅: 3.0m 奥行き: 1.0m	25% (164m ²)	44% (284m ²)
Case5		幅: 3.0m 奥行き: 1.5m	25% (160m ²)	52% (336m ²)
Case6		幅: 3.0m 奥行き: 2.0m	24% (153m ²)	53% (343m ²)
Case7	並列円筒面送気口(2ヶ所) 吹出し範囲120°		20% (129m ²)	74% (481m ²)
Case8	直列矩形送気口(2ヶ所) 幅: 3.0m 奥行き: 1.5m		24% (159m ²)	48% (314m ²)

* 領域面積比率(%) = $\frac{\text{対象面積内の} 3\text{mg/m}^3 \text{以上}(1\text{mg/m}^3 \text{未満}) \text{の粉じん濃度の領域面積(m}^2\text{)}}{\text{対象面積(m}^2\text{)}}$

**対象領域:650m²(=トンネル横断面方向の幅:13m×切羽からの縦断面方向の長さ:50m)

表-4 発生汚染物質質量に対する集じん風管での捕集率

送気方式			捕集率(%)*
Case1	従来送気口		60%
Case2	円筒面送気口		87%
Case3	矩形送気口	幅: 3.0m 奥行き: 0.5m	91%
Case4		幅: 3.0m 奥行き: 1.0m	93%
Case5		幅: 3.0m 奥行き: 1.5m	95%
Case6		幅: 3.0m 奥行き: 2.0m	95%
Case7	並列円筒送気口(2ヶ所) 吹出し範囲120°		91%
Case8	直列矩形送気口(2ヶ所) 幅: 3.0m 奥行き: 1.5m		95%

* 捕集率(%) = $\frac{\text{単位時間あたり集じん風管で捕集する粉じん量(kg/s)}}{\text{単位時間あたり切羽面で発生する総粉じん量(kg/s)}} \times 100$

(4) 矩形送気口 (Case3~Case6) の形状の検討

a) 気流性状

図-3 の Case5 に代表として矩形送気口の奥行き 1.5m ののトンネル切羽付近の流線を示す。送気口から送気される新鮮な空気は、Case2 よりも低い風速で床面方向に送気される。やはりエアカーテンから漏れて集じん機に向かう気流はあるもの Case1 に比べて減少している。Case2 と同様にトンネル上部の流線は、集じん機の方向からの気流を示している。

(濃度:横断面の高さ H=1.5m の平均値)

図-5 切羽面からの距離と粉じん濃度分布の関係(Case1)

b) 粉じん濃度

図-4 の Case3~6 に矩形送気口の奥行きの幅が異なるケースにおける、切羽面から 60m の距離までの粉じん濃度分布コンターを示す。切羽からの距離が 15m から 30m までの領域を比較すると、Case3~Case6 の中で Case5(奥行き 1.5m)の場合のみが 2.0mg/m³ 以上の領域がなく粉じん濃度が抑えられていることが分かる。また、Case5(奥行き 1.5m)と Case6(奥行き 2.0m)では、切羽から 30m 以上離れると粉じん濃度が 0.5mg/m³ 以上の領域は見られない。

次に、図-7 に切羽面からの距離と粉じん濃度の関係を示す。Case5(奥行き 1.5m)と Case6(奥行き 2.0m)はいずれ

(濃度:横断面の高さ H=1.5m の平均値)

図-6 切羽面からの距離と粉じん濃度分布の関係
(Case1, Case2)

(濃度:横断面の高さ H=1.5m の平均値)

図-8 切羽面からの距離と粉じん濃度分布の関係
(Case1, Case7)

れも切羽から 15m 以上離れた場所では、ほかのケースよりも粉じん濃度が低下しているが、切羽付近に着目すると特性が異なり、Case5 では 14mg/m^3 と高い値を示すのに対して、Case6 では約 8mg/m^3 と粉じん濃度が低く、Case2 と同様の傾向を示すことが分かった。

一方、切羽から 50m 後方では、Case5(奥行き 1.5m)では 0.016mg/m^3 、Case6(奥行き 2.0m)では 0.032mg/m^3 であり、いずれも Case1 に比べて粉じん濃度が約 1/100 となりエアカーテンの効果が顕著である。

表-3 の Case3~6 に切羽面から 50m 後方までの領域における粉じん濃度が 3mg/m^3 以上および 1mg/m^3 未満の濃度の面積比率の比較を示す。領域内において 3mg/m^3 以上の濃度を示す領域は Case5(奥行き 1.5m)で 25%、Case6(奥行き 2.0m)で 24%と Case1 に比べて約 55 減少しており、Case2 とほぼ同様の値を示す。また、 1mg/m^3 未満の領域は Case5(奥行き 1.5m)で 52%と Case6(奥行き 2.0m)で 53%に増加しており、Case2 よりも高い値を示す。

c) 捕集率

(濃度:横断面の高さ H=1.5m の平均値)

図-7 切羽面からの距離と粉じん濃度分布の関係
(Case1, Case2, Case3~6)

表-4 に示す捕集率は Case5(奥行き 1.5m)、Case6(奥行き 2.0m)とも 95%であった。

d) まとめ

本項では、矩形送気口の形状について検証を行った。その結果、Case5(奥行き 1.0m)と Case6(奥行き 2.0m)の送気口の形状が良好な性状を示すことが示された。そこで本報では、粉じん濃度の平面分布コンターの結果から、Case5 を用いて以降の Case8 の検討を行う。

(5) 並列円筒面送気口 (Case7) の検討

a) 気流性状

図-3 の Case7 にトンネル切羽付近の流線を示す。送気口からの空気は、並列で送気されるために、両サイドの気流が Case2 よりも偏りが減少している。ただし、この方式では、集じん機方向から切羽に向かう流線は設定されていない。このため、坑口側からの汚染物質の影響については、今後検討が必要と考えられる。

b) 粉じん濃度

図-4 の Case7 に切羽面から 60m の距離までの粉じん濃度分布コンターを示す。濃度分布は、後述の Case8 も含めて最も濃度が高い領域が小さく抑えられている。切羽から約 15m の距離より離れた領域では、 1.0mg/m^3 以上の領域がみられない。

次に、図-8 に切羽面からの距離と粉じん濃度の関係を示す。粉じん濃度は 15m の位置で大きく低下している。また、50m の距離では 0.29mg/m^3 と Case1 の約 1/10 を示しており、エアカーテンの効果が顕著に見られる。

表-3 の Case7 に切羽面から 50m 後方までの領域において、粉じん濃度が 3mg/m^3 以上および 1mg/m^3 未満の濃度の面積比率の比較を示す。

領域内において 3mg/m^3 以上の粉じん濃度を示す領域は 20%と、後述の Case8 も含めて最も低い値を示し、Case1 に比べて 63%減少している。一方、 1mg/m^3 未満の領域に

についても 74%と後述の Case8 を含めて最も低い値を示す結果となった。

c) 捕集率

表-4 の Case7 より、捕集率は91%であった。

d) まとめ

本項では、並列円筒面送気口方式(集じん風管吸込み口から吸いこまれた空気が、集じん機を経て再び送気風管と同一横断面から排気(送気)する方式)について換気性能を検証した。その結果、捕集率は矩形送気口よりやや劣るものの、粉じん濃度が $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の領域面積が最も広い。すなわち、切羽付近の空気質が最も改善する結果であった。

(6) 直列矩形送気口 (Case8) の検討

a) 気流性状

図-3 の Case8 にトンネル切羽付近の流線を示す。矩形送気口(奥行き 1.5m)からの送気空気と集じん機からの矩形排気口の 2 個所でエアカーテンが形成されており、エアカーテンから漏れて集じん機に向かう気流はあるものの、Case1 に比べて減少している。

b) 粉じん濃度

図-4 の Case8 に切羽面から 50m 後方までの粉じん濃度分布コンターを示す。濃度分布コンターをみると、Case5 および Case7 よりもやや $1.5\sim 2.0\text{mg}/\text{m}^3$ の領域が広いものの、ほぼ同様の濃度分布を示す。

次に、図-9 に切羽面からの距離と粉じん濃度の関係を示す。粉じん濃度は切羽～約 15m 後方までの区間において Case1、Case7 に比べて高いを示しており、汚染物質が坑内に拡散することを抑制できている。また、50m 後方では $0.027\text{mg}/\text{m}^3$ を示し、Case7 と同様に Case1 の約 1/100 の値を示しており、エアカーテンの効果が顕著にみられる。

表-3 の Case8 に切羽面から 50m の距離の領域における粉じん濃度が $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以上および $1\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の濃度の面積比率の比較を示す。領域内において $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以上の濃度を示す領域は 24%、 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の領域は 48%であった。

c) 捕集率

表-4 の Case8 に発生汚染物質質量に対する集じん風管での捕集率を示す。捕集率は95%であった。

d) まとめ

本項では、直列矩形送気口方式(集じん機から排気される空気を、送気口と同じ矩形形状の排気口から排気し、集じん機付近でも吹き下ろし空気によるエアカーテンを形成する方法)について検証した。

その結果、従来の送気、吸引捕集方式に比べて、エアカーテンの形成が顕著であり、粉じん捕集率が最もよい結果となり、トンネル切羽付近の空気質改善に効

(濃度:横断面の高さ $H=1.5\text{m}$ の平均値)

図-9 切羽面からの距離と粉じん濃度分布の関係
(Case1、Case7、Case8)

果が高いことが示された。

一方今回の検討では、切羽から発生する粉じんを対象に検討しているため、坑口側からの汚染物質に効果があると思われる、集じん機からの矩形排気口の効果を明確に発揮することができず、粉じん濃度が $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ 未満の領域面積で比較すると、並列円筒面送気口方式にやや劣る結果となった。

ただし、実際のトンネル工事現場では、集じん機後方でも重機車両から排気ガスが排出されており、空気質を悪化させる要因は数多く存在するため、今後さらに集じん機からの矩形排気口の効果の検討を行う予定である。

4. 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た換気システムを 2 種類提案した。いずれも送気、吸引捕集方式をベースとしつつも、より積極的に複数のエアカーテンを形成し、粉じんの拡散を抑制することで、空気質の改善を目指すものである。以下本報告で得られた結論を示す。

- (1) 従来の送気、吸引捕集方式では、送気風管から切羽に向かって吐出した流速の速い空気が、エアカーテンの形成を阻害しており、捕集効率を低下させている。
- (2) 送気口の先端形状を、直接切羽方向に風速の速い空気を直接吐出せず、横断面方向に吐出することで、空気質環境が改善する。
- (3) 円筒面、矩形等の形状の送気口から、横断面方向に吐出することで、エアカーテンの機能が強化される。
- (4) 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を提案した。この方式では、 3mg/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。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。

- (5) 集じん機の排気口にも、エアカーテンを形成する矩形送気口を設置することにより、坑口側からの汚染物質も抑制する方式(直列矩形送気口方式)を提案した。この方式では、 3mg/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 55%低下する。また、切羽から 50m 後方での粉じん濃度は約 1/32 に低下し、捕集率は 35%向上する。なお、坑口側からの汚染物質に対する効果も今後検討を

行う予定である。

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, pp.23-30, 2013.
- 2) 赤坂雄司, 大下武志, 波田光敬, 鈴木裕: 吹付コンクリートにおける急結剤の有無による粉じん発生量の相違について, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp. 1605-1610, 2004.
- 3) 金岡千嘉男, 古内正美, 因幡淳一, 大亦和代, 明星敏彦: 山岳トンネルにおける切羽近傍の換気気流と粉じん濃度の解析, 土木学会論文集, No.714/VI-56, pp.43-52, 2004.

(2014.5.26 受付)

EXAMINATION OF VENTILATION SYSTEMS FOR THE AIR QUALITY IMPROVEMENT AT THE TUNNEL FACE

Kenichi FUMIMURA, Kiyoshi HIWATASHI, Taiki SATO, Shigeo KOKUBU
and Fumiharu NAKAHARA

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

In this paper, two ventilation systems were suggested. The numerical analyses were performed for the comparative discussion. These analysis results showed that the suggested systems have ventilation performance higher than the conventional systems about from 30 % to 35%.