

平成 24 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞 受賞業績 (その 2)

平成 24 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会 奨励賞

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 ～短時間で坑内の作業環境を飛躍的に改善～

(株)大林組・国土交通省 八代河川国道事務所

業務内容の概要

「トラベルクリーンカーテン」(以下 TCC) は、開閉可能な隔離壁と集じん機・送気ファンから構成される。本装置は、坑内で発生粉じんが送気ファンによる給気で希釈され集じんされる際に、隔離壁により粉じんの拡散を防止して、切羽～TCC 間で粉じんを確実に処理することができるため、TCC から後方の作業環境を飛躍的且つ確実に改善することが可能である。

掘削時やコンクリート吹付時など、切羽付近で大量に粉じんが発生する時は、隔離壁車両通行部を閉じて粉じんを切羽～TCC 間に封じ込め、給気にて十分に希釈して確実に処理できる(図-1)。ズリ出し作業など車両通行が必要な時は、隔離壁車両通行部を開くことにより、集じん機による排気量 Q2 と送気ファンによる給気量 Q1 に開口部で圧力差を付け、TCC 後方で切羽方向への気流を発生させることで粉じんの坑口への漏れを抑制する(図-2)。

「TCC」の主な特長は、以下のとおりである(土木研究所模擬トンネルでの実験結果)。

1. 「切羽後方 50 m での粉じん濃度を 0.1 mg/m^3 」まで低減することが可能である。
2. 開閉可能な隔離壁、及び隔離壁外周部はバルーン構造

のために、状況に応じた送排気制御が可能である。

3. 粉じん処理時間の約 25% 短縮と電気使用量の 25% 程度削減が可能である(従来機比)。
4. 移動・再設置は容易で短時間(30 分)の移動が可能である。

図-1 に隔離壁車両通行部 閉、図-2 に隔離壁車両通行部 開の坑内イメージ図を示す。

業務内容

1. 業績の行われた背景

山岳トンネル工事においてトンネル先端である切羽では、発破や機械による掘削、掘削土砂の積込、コンクリート吹付、それらを行う工事機械の排煙によりさまざまな粉じんが大量に発生する。粉じんは、現場従事する人々にとって肺機能の低下を招くじん肺の要因として大変深刻な問題であり、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』(平成 12 年 12 月)で「切羽後方 50 m で粉じん濃度目標レベルを 3 mg/m^3 以下」と定めている。

従来、粉じん対策としては切羽付近に外気を送風・換気

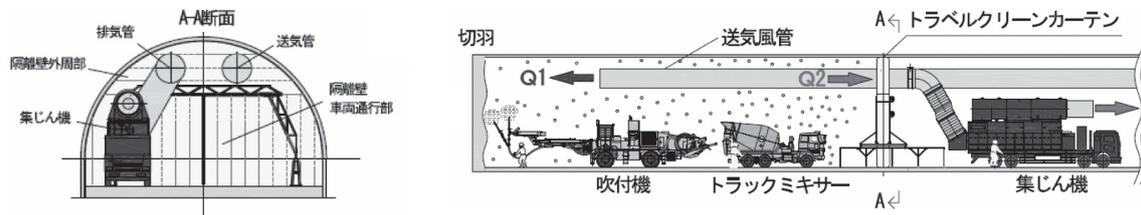


図-1 隔離壁車両通行部 閉の場合 $Q1 = Q2$

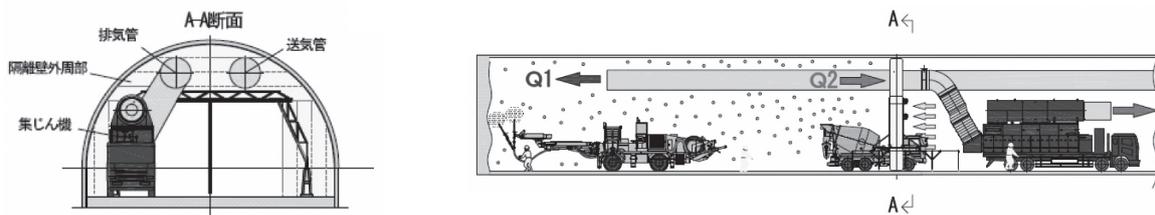


図-2 隔離壁車両通行部 開の場合 $Q1 < Q2$

することによって粉じん濃度を希釈して低減する方法がとられてきた。しかし、近年のトンネル断面の大径化、工事機械の大型化に伴い、切羽付近で発生する粉じんは増加傾向にあることから、希釈に加え集じん機を併用するようになり、換気設備の大型化、それに伴う換気コストの増大や移動・設置の煩雑化が課題となっていた。

これらの問題を解決するために、(株)大林組は、「トラベルクリーンカーテン」(以下 TCC)を開発した。本装置は隔離壁開口部と送排気量による圧力差を利用したトンネル坑内粉じん低減工法で、発生粉じんを封じ込め、効率良く集じんすることが可能である。その効果は、独立行政法人土木研究所内模擬トンネルを使った実証実験と、現場への適用で粉じん濃度が大幅に低減したことにより確認された。



写真一 全景



写真二 TCC 使用状況

2. 業績の詳細な技術的説明

a. 工法

換気設備の想定として、2車線道路トンネル(内空断面積 80 m^2) 施工時に送気式換気方法を採用し、送風機 $1500\text{ m}^3/\text{min}$ 、集じん機 $1800\text{ m}^3/\text{min}$ を使用、常時給気として $Q1 = 1000\text{ m}^3/\text{min}$ を送風するものとする。

◆隔離壁車両通行部 閉(掘削時、コンクリート吹付時)

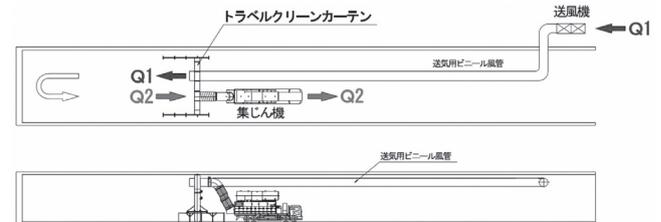
隔離壁車両通行部を閉じて発生粉じんを切羽～TCC間に封じ込め、給気にて希釈して確実に処理する。集じん機は切羽からの発生粉じんを感知し運転開始するが、排気量 $Q2$ は送風機による給気量 $Q1$ と同等 ($1000\text{ m}^3/\text{min}$) になるようにコントロールする ($Q2 = Q1$)。

◆隔離壁車両通行部 開(ズリ出し時等の車両通行時)

隔離壁車両通行部を開き集じん機の排気量 $Q2$ をコントロールして $1500\text{ m}^3/\text{min}$ にて運転することで、TCC後方で切羽方向への気流を発生させ粉じんの坑口への漏れを抑制する。

これにより、隔離壁車両通行部閉の場合と同等の効果が得られる ($Q2 > Q1$)。

図一3にトンネル坑内縦断面図、写真一3に隔離壁車両通行部閉、写真一4に隔離壁車両通行部開を示す。



図一3 トンネル坑内縦断面図



写真一3 隔離壁車両通行部 閉



写真一4 隔離壁車両通行部 開

b. 構造

- ◆隔離壁外周部をバルーン構造とすることで凹凸のあるトンネル壁面への密着性に優れ外周部からの漏れを防ぎ、粉じんの封じ込め性・拡散抑制性を高めている。
- ◆隔離壁外周部のバルーンは収縮・膨張をブローで行うため、トンネル壁面への密着を短時間で確実に行うことが可能である。

写真一5にバルーン膨張前、写真一6にバルーン膨張後の写真を示す。

c. 施工性

- ◆TCCの移動は車輪とレールの組み合わせを採用し、狭いトンネル坑内の移動をスムーズかつ精度高く行えるよう



写真—5 バルーン膨張前

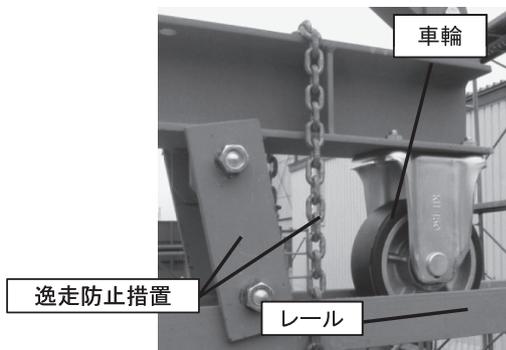


写真—6 バルーン膨張後

にした。TCC 移動時はレール上を走行するが、架台には車輪が取付られているため、重量は約 350 kg あり、人力（4 名）での移動が可能である。なお移動・盛替にかかる時間は 30 分程度で完了するため、トンネル掘削サイクル内で行うことができ、切羽進行に追従する移動が可能である。表—1 に移動・盛替サイクル（現場施工実績）、写真—7 にレール・車輪部を示す。

表—1 移動・盛替サイクル

1	バルーン収縮、レール延長	12分
2	TCC移動	10分
3	バルーン膨張、レール撤去、集じん機、電源台車移動	8分
	合計	30分



写真—7 レール・車輪部

3. 技術的効果

a. 実証実験

・実験場所

独立行政法人 土木研究所内 模擬トンネル（トンネル延長 100 m, 内空断面積 80 m²）

・実験目的

切羽からの発生粉じんを TCC にて封じ込めた状態で、集じん機により効率良く浄化できるかの効果確認のため以下の実証実験を行った。

一般的な希釈換気方式と比較した。

①坑内環境の比較

②経済的効果（4. 経済的効果にて検証）

・実験方法

送気ファンからの給気量 Q1 と排気量 Q2 を設定し、送気ファン・集じん機を運転。その後、先端にて粉じん（ゼオライト #600 中心粒径 1.92 μm）を発生させ、モニター上の粉じん計 No.1 ~ No.3 の粉じん濃度が全て 8 mg/m³ を示した時点で、粉じんの発生を中止して測定を開始した。モニターを目視し粉じん計 No.1 ~ No.3 の粉じん濃度が全て 3 mg/m³ 以下になった時点で測定は終了とし、No.1 ~ No.9 の粉じん濃度を測定した。実験は、TCC の有・無の 2 ケースを実施した。

なお、Q1, Q2 はエアカーテン効果を考慮して、「TCC 無」「TCC 有」の場合ともに

(Q1, Q2) = (500, 500) (500, 750) (500, 1000) (750, 750)
(750, 1000) (750, 1500) (1000, 1000) (1000, 1500)
とパターンを変えて測定を行った。

表—2 使用機械一覧

No	品名	型式	台数	風量(m ³ /min)	出力(kW)
1	送気ファン	KEF-120AWS	1	1500	80*2
2	集じん機	RE-1500P	1	1800	55*2
3	粉じん発生装置		1	-	-
4	粉じん計	JD-3K	9	-	-
5	データローガー		1	-	-

・試験レイアウトおよび粉じん濃度測定ポイント

図—4 に土木研究所実証実験時の試験レイアウト（TCC 有）および粉じん濃度測定ポイントを示す。TCC 無の場合も、試験レイアウトおよび粉じん測定ポイントは同様とした。

なお粉じん濃度の測定点については、ずい道等建設工事における換気技術指針[※]に従った。

※ずい道等建設工事における換気技術指針より抜粋

粉じんの測定点とは、ガイドラインで示されたトンネル内の気中粉じん濃度、風速、気流の方向などの測定点のことであり、切羽から坑口に向かって 50 m 程度離れた横断面位置で左右・中央の 3 点（床上 50 cm 以上 150 cm 以下）をいう。

・実験結果（模擬トンネル実証実験時の坑内環境比較）

図—5 に送気方式（送気ファン + 集じん機, TCC 無）の場合で送風量 1000 m³/min, 排気量 1500 m³/min の場合、

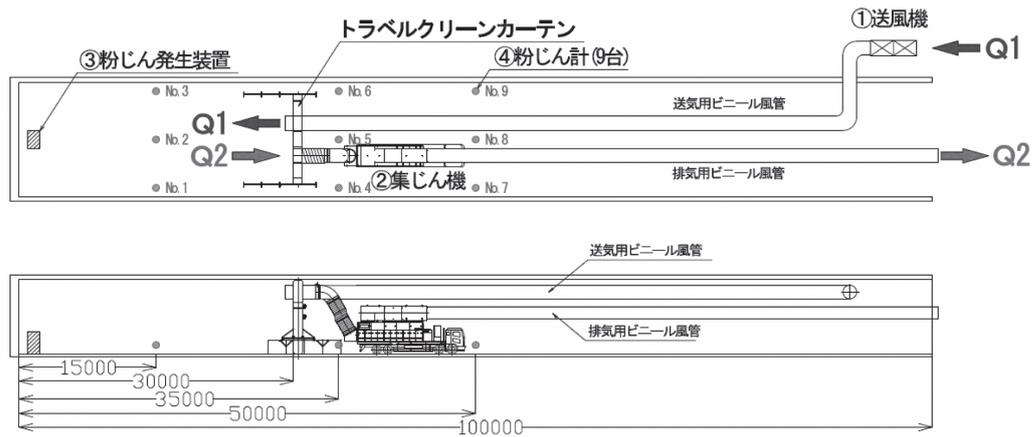


図-4 試験レイアウトおよび粉じん濃度測定ポイント

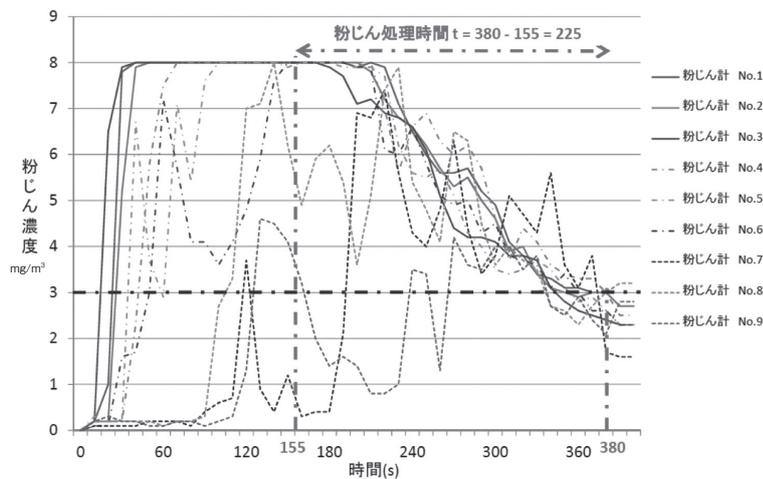
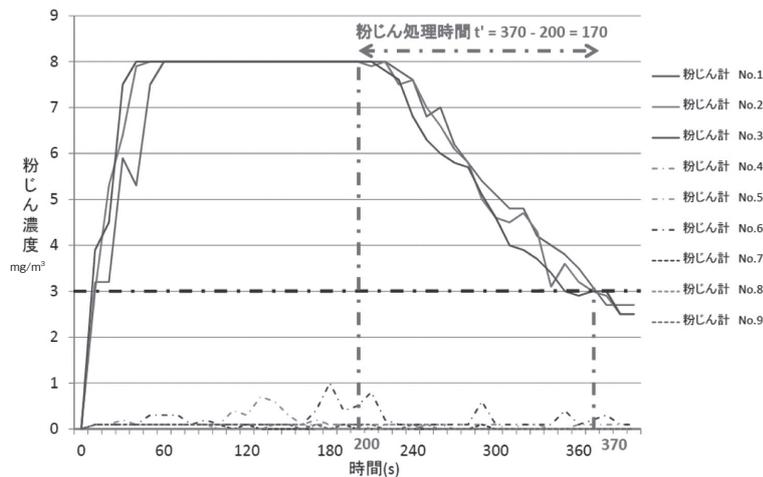
図-5 送気方式（送気ファン+集じん機、TCC無）の場合（送風量 $1000 \text{ m}^3/\text{min}$ 、排気量 $1500 \text{ m}^3/\text{min}$ ）図-6 TCC 設置（隔離壁車両通行部開）の場合（送風量 $750 \text{ m}^3/\text{min}$ 、排気量 $1500 \text{ m}^3/\text{min}$ ）

図-6にTCC設置（隔離壁車両通行部開）の場合で送風量 $750 \text{ m}^3/\text{min}$ 、排気量 $1500 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合の粉じん変化を示す。なお、縦軸は粉じん濃度 (mg/m^3)、横軸は時間 (s) とし、各粉じん計の粉じん濃度の時間的変化を示している。

(1) 粉じん濃度

図-5より、トンネル先端で発生した粉じんは粉じん計 No.7, 8, 9の数値より、切羽から50mの位置まで漏

れてきているのが分かる。しかし、TCCを設置した図-6では時間が経過しても、粉じん計 No.4~9の数値が上がっていない。これはTCCが、粉じんを封じ込め、切羽50m位置まで粉じんが漏れてきていないことを示す。計測員が計測機器に近づいたことにより、粉じん濃度が瞬時的に上がっているところもあるが、TCC後方の粉じん濃度は $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以下になっていることが図-6より分か

る。従来の換気指針では、粉じん発生箇所から 50 m の位置で 3 mg/m^3 以下なので、TCC 設置により粉じん濃度を従来指針値の 1/30 以下に低減することが確認された。

(2) 粉じん処理時間

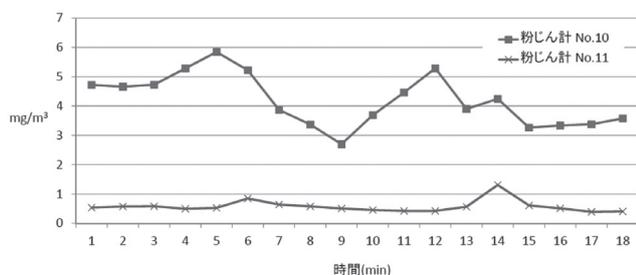
図一5より、従来の換気方法では、切羽付近粉じん濃度を 8 mg/m^3 から 3 mg/m^3 にするまで 225 秒かかることが分かる。しかし、図一6より TCC を設置して送風量を 750 mg/m^3 にし、エアカーテン効果を上げると、170 秒で坑内の粉じん濃度を 3 mg/m^3 以下にできることが分かる。したがって通常換気に対し送風量を下げることにより、エアカーテン効果は上がり希釈効果は下がることから TCC を使用する際にはこのバランスが必要とされ、集じん機仕様変更・換気レイアウト等で、希釈効果は改善されると思われる。短縮効果 = $(225 - 170) / 225 \approx 0.25$ よって TCC により、切羽作業終了後から浄化までの粉じん処理時間は約 25% の短縮が可能である。

b. 現場適用時

トンネル切羽から 50 m の位置に TCC を設置し、吹付け時の粉じん濃度（切羽から 15 m の位置；粉じん計 No.10）と TCC 後方の粉じん濃度（切羽から 50 m の位置；粉じん計 No.11）を測定した。

また、トラミキ、作業員が随時通行するために隔離壁車両通行部は常時開にし、切羽作業時の粉じん濃度の測定を行った。

図一7に現場適用時の粉じん濃度測定結果を示す。



図一7 現場適用結果 (吹付時、送風量 $1330 \text{ m}^3/\text{min}$ 、排気量 $2000 \text{ m}^3/\text{min}$)

現場適用時は車両による巻き上げ粉じん等の影響により、 0.1 mg/m^3 以下までの低減効果は得られなかったが、TCC の効果は確認でき、現場からも高い評価を頂いた。

4. 経済的効果 (模擬トンネルでの実証実験結果)

送気式+集じん機での一般的な希釈換気方式の場合と TCC の場合で電力量を比較した。

◆比較条件：トンネル内空断面積 80 m^2 のトンネルにおいて送風機 $1000 \text{ m}^3/\text{min}$ 、集じん機 $1500 \text{ m}^3/\text{min}$ で運転し換気しているときの電力量を P1 とし、これを通常時の換気とした。TCC を設置することにより送風機を $750 \text{ m}^3/\text{min}$ で運転しても、通常換気以上の粉じん低減効果と切羽作業終了後から浄化までの粉じん処理時間の短縮効果が得られたため、このときの電力量 P2 と通常換気の電力量 P1 を比較し、TCC の経済的効果を確認した。

$$\text{削減率 } C = (P1 - P2) / P1 \approx 0.25$$

よって TCC により、電気使用量を 25% 程度削減することが確認された (従来機比)。

5. 施工または生産・販売実績

施工実績

国土交通省九州地方整備局 津奈木トンネル (仮称)

6. 類似工法または類似機械との比較

類似工法等 該当なし

7. 特許、実用新案のタイトル (出願、公開、登録、国内・国外を明記)

特願出願中

8. 波及効果

集じん時間短縮による省エネと坑内環境の改善から、山岳トンネル工事の新たな換気方法として今後普及されると期待される。

9. 他団体の発表等

平成 24 年度土木学会全国大会

第 67 回年次学術講演会 発表

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

小林 誠 (こばやし まこと)：応募代表者

(株)大林組 本社 機械部 技術第二課

諏訪 蘭 和彦 (すわぞの かずひこ)

国土交通省 八代河川国道事務所

お断り

この JCMA 報告は、会長賞奨励賞を受賞した原文とは一部異なる表現をしてあります。