

トンネル天井用乾式研掃装置の開発と現場適用

石井 敏之・西山 宏一・粟津 利一

都市内高速道路における片側車線供用下でのトンネル天井面の補修・補強工事は、一般通行車両への飛散抑止を行いながら、短い規制時間内での人力作業となる。特に、塗膜等の除去を行う表面処理は、高所で無理な姿勢での作業となり、処理面の品質低下や作業環境の劣悪さ等が問題となっている。そこで、天井面の表面処理を機械化し、かつ粉塵等の飛散防止が行える「天井用車載型乾式研掃装置」を開発した。

今回、トンネル剥落防止対策工事に適用した。その結果、塗膜の取り残しがなく処理面品質の向上、粉塵等の飛散抑止による作業環境の改善、および作業の省力化と安全性の向上が図れることを確認した。

キーワード：補修工事、機械化、天井面の表面処理、飛散抑止

1. はじめに

都市内高速道路におけるボックスカルバートトンネル天井面（以下、天井面）の補修・補強工事は、片側車線供用下で、一般通行車両へのコンクリート片や粉塵等の飛散抑止を行いながら短い規制時間内での人力作業となっている（写真—1）。この補修・補強工事において、下地処理としての天井面の排気ガスで汚れた塗膜等を薄く削り取る表面処理は、一般的に、飛散防止を行った高所作業車上で、作業員が天井を見上げた姿勢でディスクサンダー等の動力工具を使い、排気ガス由来の有害な粉塵等が飛散する環境での作業となっている（写真—2）。そのため、天井面の表面処理は、①作業員の技量差に起因する処理面仕上がり品質のバラツキ、②発生した粉塵等による作業環境の悪



写真—2 人力によるトンネル天井面の表面処理



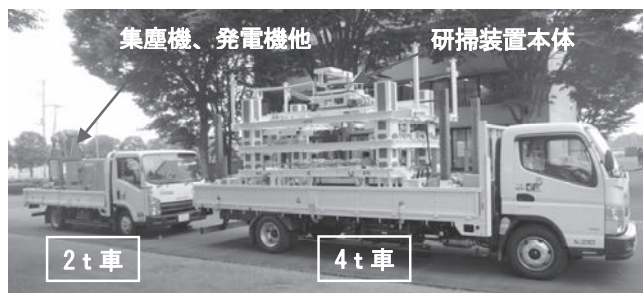
写真—1 トンネルの補修・補強工事

化、③高所での無理な姿勢による安全性と作業効率の低下、等が問題となっている。

そこで、天井面の表面処理を、地上部から全ての操作が行えるように機械化し、同時に発生した粉塵等の飛散を抑止できる「天井用車載型乾式研掃装置」（以下、研掃装置）を開発した。今回、都市内高速道路のトンネル剥落防止対策工事にあって、天井面の排気ガスで汚れた塗膜除去作業の表面処理に、本研掃装置を適用した。本稿では、研掃装置の概要と現場適用結果について報告する。

2. 研掃装置の概要

研掃装置の外観を写真—3に、仕様を表—1に示す。研掃装置は、機動性および施工時の設置・撤去時間



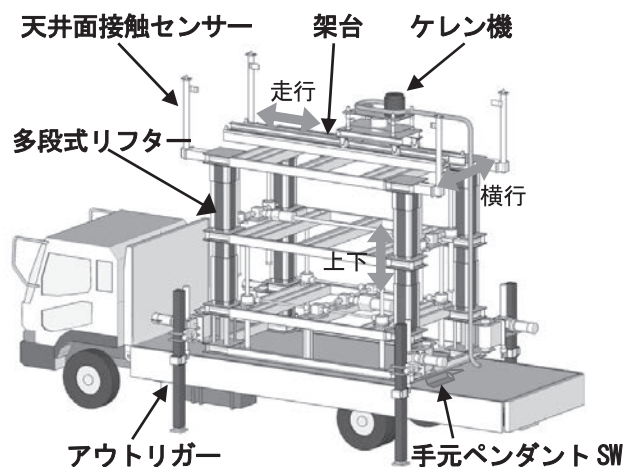
写真—3 天井用車載型乾式研掃装置

表—1 研掃装置の仕様

装置部位	項目	仕様
ケレン機	走行速度	0.5 ~ 10 m/min
	押付け力	0.3 ~ 0.9 kN
	鉛直凹凸	± 40 mm 追従
	研 掃 幅	250 mm
多段式 リフター	昇降速度	0.375 m/min
	昇降高さ	1,200 mm
	施工高さ	4.3 ~ 5.0 m
全 体	総 重 量	42.2 kN
	施工範囲	走行：2.69 m
		横行：1.56 m
		面積：4.2 m ²
	非常停止	装置本体：3箇所 手元ペンダントSW：2箇所

短縮の観点から車載型とした。研掃装置の構成は、天井面の表面処理を自動運転で行う研掃装置本体を搭載した4t車と、集塵機、発電機、制御盤、コンプレッサー等を搭載した2t車からなる。

研掃装置本体は、図—1に示すように、天井面の表面処理を自動運転で行うケレン機、ケレン機が走行・横行を行う架台、この架台を上下に移動・停止させる多段式リフターと天井面接触センサー、研掃装置本体



図—1 研掃装置本体

を設置・支持するアウトリガー、およびこれら进行操作する手元ペンダントスイッチからなる。

以下、それらの機能について説明する。

(1) ケレン機 (写真—4)



写真—4 ケレン機

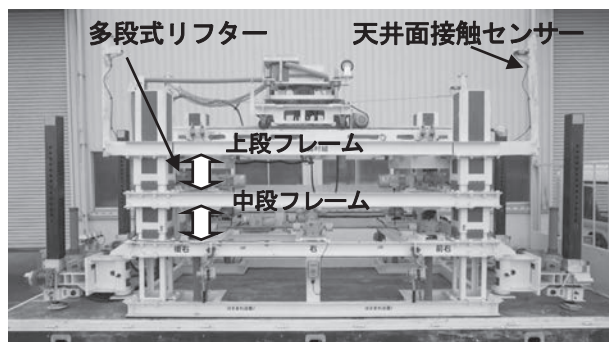
ケレン機は、天井面の表面処理を行う部分と発生した粉塵等の飛散抑止を行う部分からなる。

表面処理を行う部分は、鋼製ビットを配した円盤状の研掃ヘッドを、高速回転させながら、2台のエアシリンダーで天井面に一定の力で押付け、一定速度で走行させる構造により、表面処理を行う。なお、押付け力と走行速度は、現地の対象構造物を用いた試験施工を行い、適切な処理面の付着力等を考慮して定める。また、押付け力と走行速度の制御について、押付け力の制御は、レギュレータによる調整とリニアブッシュにより処理面の凹凸や勾配の変動に追従させることによって、押付け力（エアシリンダー圧）が一定になるようにしている。走行速度の制御はラックアンドピニオンとインバーターによって速度が一定になるようにしている。

飛散抑止を行う部分は、研掃ヘッドの周囲に設けたウレタンとブラシによる2重の飛散防止柵と研掃ヘッドの吸引孔から集塵機で吸引させる構造により、表面処理中に発生した粉塵等の飛散抑止を行う。

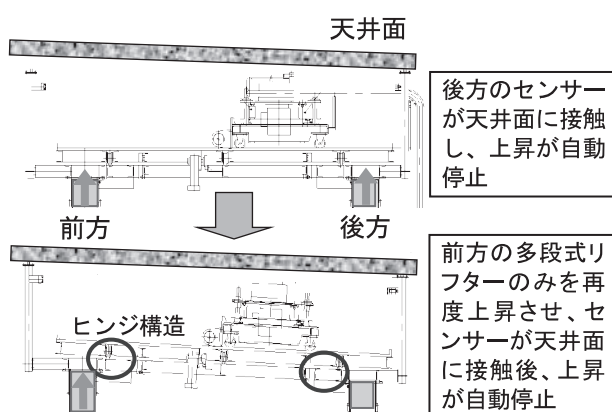
(2) 多段式リフターと天井面接触センサー (写真—5)

多段式リフターは、ケレン機を、格納位置から天井面近傍までの上昇・下降と天井面との勾配調整を行う



写真一5 多段式リフターと天井面接触センサー

ものである。ケレン機の上昇・下降は、ケレン機が走行と横行を行う架台と連結している上段フレームと中段フレームを、多段式リフターによって上下に移動させることによって行う。また、ケレン機は、上段フレームの4隅に設置した天井面接触センサーが天井面に接触することによって、上昇時に天井面近傍で自動停止する。なお、天井面が道路縦断方向に勾配を有する場合には、図一2に示すように、ヒンジ機構を有する上段フレームの接触していない一端側（前方あるいは後方）を再度上昇させ、天井面とケレン機を平行にする。



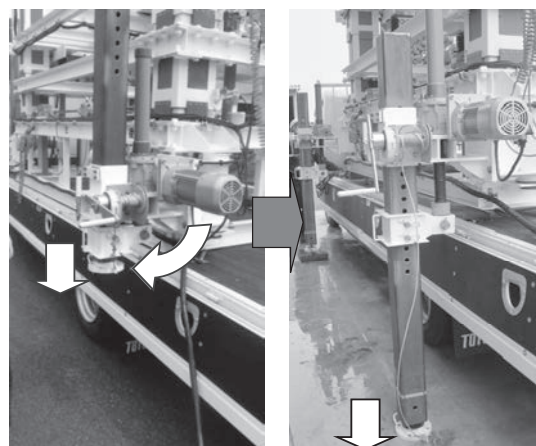
図一2 ケレン機と天井面の勾配調整

(3) アウトリガー (写真一6)

アウトリガーは、穴あき鋼管柱とジャッキからなる。研掃装置本体の設置・支持は、4隅に配したアウトリガーを90度回転させて道路側に配し、穴あき鋼管柱を地表面近傍でピン止め後、残りをジャッキを伸長させることによって行う。なお、アウトリガーにより研掃装置本体は、道路の縦断および横断勾配に関係なく水平に設置・支持させる。

(4) 手元ペンダントスイッチ

手元ペンダントスイッチは2台あり、1台が研掃装

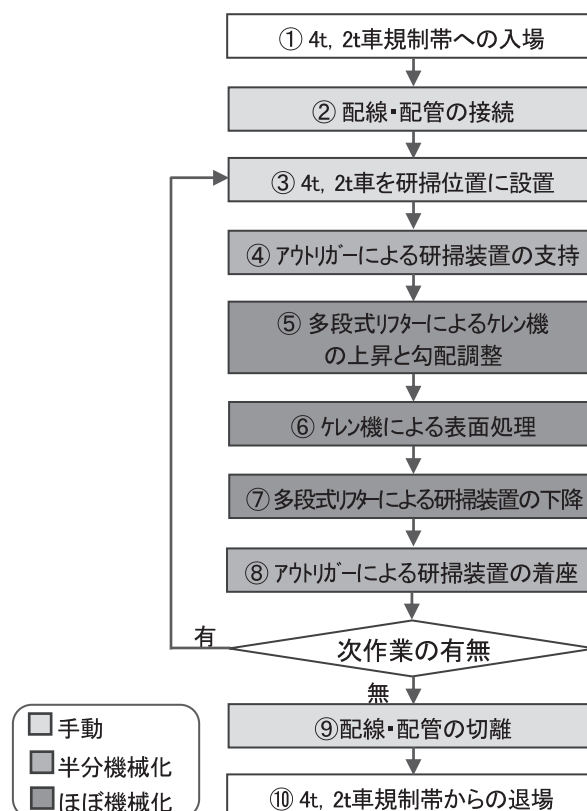


写真一6 アウトリガーの設置

置の設置用、もう1台が表面処理の操作用である。これらの手元ペンダントスイッチの操作によって、研掃装置の設置・格納および天井面の表面処理の全ての作業が地上から行える。また、同スイッチには、ボタン操作による非常停止の機能を設けている（他に、研掃装置本体に2箇所、制御盤に1箇所）。

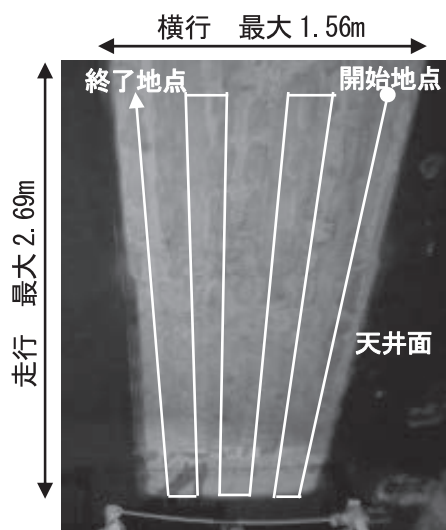
3. 研掃装置の施工手順

都市内高速道路トンネルでの標準的な施工フローを図一3に示す。



図一3 施工フロー

研掃装置を搭載した4t車と2t車が規制帯内への入場後、配管・配線を接続し、4本のアウトリガーで研掃装置本体を道路勾配に関係なく水平に設置する。次に、多段式リフターと天井面接触センサーで、ケレン機を天井面近傍まで上昇させ、ケレン機と天井面が平行になるように勾配調整を行う。ケレン機による表面処理は、写真一七に示すように、ケレン機を開始地点に移動させ、天井面に一定の力で押付けながら一定速度で走行させる自動運転で行われる。なお、ケレン機による表面処理の施工パスは、研掃装置本体を設置後、1回の走行終了後ケレン機を研掃幅程度横行させ、再度走行させる操作の繰返しとなる。研掃装置設置1回あたりの最大表面処理面積は、ケレン機の走行2.69m、横行1.56mの範囲で、4.2m²である。



写真一七 ケレン機の施工パス

4. 現場適用

(1) 現場概要

適用した工事は、都市内高速道路におけるトンネル剥落防止工事である。適用したトンネルは、写真一八に示すように、中央分離帯が設けられた片側2車線ずつの4車線を有するボックスカルバートで、その内空



写真一八 適用トンネル

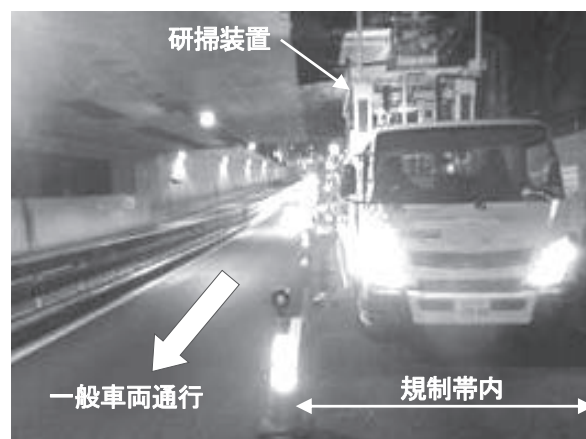
形状は、高さ4.7m×幅16.1m×長さ100mである。

(2) 適用結果

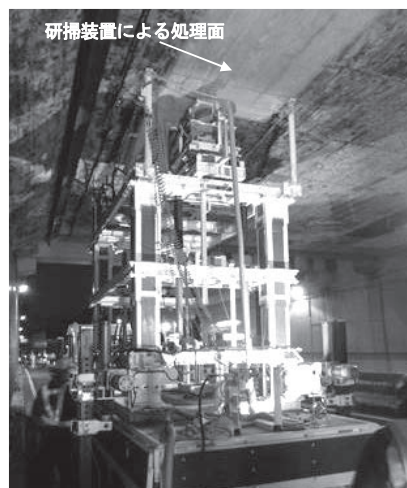
(a) 適用の概要

本研掃装置を適用した表面処理は、天井面の剥落防止工事において、躯体コンクリートと剥落防止材との一体化を図るために、排気ガスで汚れた塗膜の除去作業である。今回の研掃装置の適用日数は6日間で、その施工面積は計画施工面積2,630m²の内の150m²で、一部区間での適用となった。

施工状況を写真一九、一〇に示す。施工条件として、道路規制条件は片側車線供用下の一車線規制帯内での夜間作業（規制時間4～6時間）である。研掃装置による表面処理条件は、現地での試験施工から、ケレン機の走行速度4.5m/min、押付け力0.6kNとした。



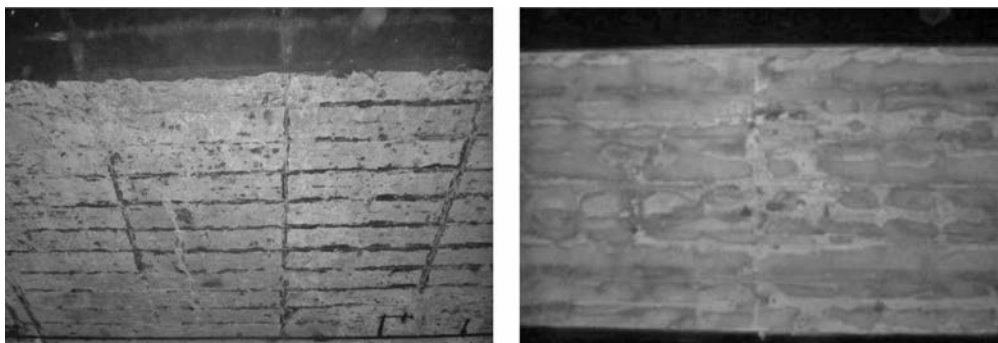
写真一九 施工状況（研掃装置の設置）



写真一〇 施工状況（表面処理）

(b) 処理面の出来形

処理面の出来形として、ディスクサンダーによる人力施工と研掃装置による施工の比較を写真一一に示す。



写真—11 処理面の比較（左：人力による処理面，右：研掃装置による処理面）

研掃装置による施工の場合には、適切な一定の押付け力と一定の走行速度で表面処理が行われたため、塗膜の削り残しが見られず、確実に除去されていることがわかる。一方、人力施工の場合には、塗膜を完全に除去するのに多大な時間と労力が必要となるため、型枠の継ぎ目部などに塗膜の取り残しが見られた。その結果、建研式付着力試験による付着強度は、人力施工の場合で約 1.5 N/mm^2 、研掃装置による場合で約 3.4 N/mm^2 となり、大きく向上した。これらのことより、研掃装置による表面処理では、天井面の一般通行車両の排気ガスにより汚れた塗膜が、一定の処理条件下で確実に除去され、処理面の品質のバラツキが改善されたことから、付着強度が大きくなったと考えられる。

(c) 施工性能

研掃装置による表面処理の施工時間および施工出来高等を表—2に示す。同表において、作業時間とは規制帯への入場から研掃装置格納までの時間、組立時間とは研掃装置設置開始から表面処理開始前までの時間、格納時間とは表面処理終了後から研掃装置格納までの時間とする。また、表面処理時間とは表面処理開始から終了後の研掃装置移動を含めた次作業の表面処理開始までの時間とする。

表—2 適用結果

項 目		施工結果
規制時間		4～6時間
作業時間		2.5～4.5時間
作業準備時間	組立時間	約30分
	格納時間	約30分
表面処理時間		約18分/回
施工面積（1回設置当たり）		$3.0 \text{ m}^2/\text{回}$
施工能力		約 $7 \text{ m}^2/\text{h}$

同表より、研掃装置による作業時間は約2.5～4.5時間で、規制時間の4～6時間より1.5時間短かった。また、研掃装置の組立時間は20～31分、格納時間は20～33分で、共に30分程度かかり、表面処理時間

以外に約1時間の準備等の時間を要した。表面処理時間は14～23分/回で、平均で18分/回程度であった。表面処理時間は12分/回程度を想定していたが、1.5倍程度の時間を要した。今回の適用では、作業員の研掃装置の操作の不慣れ等により、表面処理時間が想定していたものより長くなってしまった。今後、操作性の向上等により、組立・格納時間および表面処理時間を短縮できると考えている。

作業員の人数については、研掃装置の操作者として1人、補助員としてアウトリガー設置時や配管・配線および次作業への車両移動作業等に2人と、計3人が必要であった。また、研掃装置設置1回あたりの表面処理施工面積は、 $2.5 \text{ m} \times 0.2 \text{ m} \times 6 \text{ パス} = 3.0 \text{ m}^2/\text{回}$ であった。

この結果、今回の本研掃装置の適用による天井面表面処理の施工能力は約 $7 \text{ m}^2/\text{h}$ であった。

(d) 作業性

本研掃装置による表面処理の作業は、写真—12に示すように、操作者の手元ペンダントスイッチ等で全ての操作が地上部から行えた。これにより、高所での無理な姿勢による人力作業がなくなり、天井面の表面処理の省力化および安全性の向上が図れることを確認した。

また、表面処理時に発生した粉塵等は、確実に飛散



写真—12 研掃装置の操作

防止柵と集塵機によって遮断・吸引された。これより、片側車線供用下での本研掃装置による施工においては、一般通行車両に対する粉塵等の飛散抑止および作業箇所での飛散抑止による作業環境の改善ができることを確認した。

5. おわりに

都市内高速道路におけるトンネル剥落防止対策工事において、天井面の塗膜除去作業の一部区間に本研掃装置を適用した。研掃装置の適用により、既設コンクリート表面の汚れや塗膜の取り残しがなく確実に除去でき、仕上がり面の品質のバラツキも改善されたことから、付着性能が人力施工に比して向上した。また、表面処理時に発生した粉塵等の飛散が抑止され、作業環境の改善が図れた。更に、表面処理の省力化および安全性の向上も図れるようになった。

今後は、今回の適用で得られた操作性や作業効率の向上等を図るためのブラッシュアップを行うと共に、コンクリート構造物の補修・補強工事において高品質化・省力化ができる施工技術として、既に実用化して

いる「ウォータージェットによるコンクリート表面処理機」とあわせて、発注者に積極的に提案していく所存である。

J C M A

【筆者紹介】



石井 敏之（いしい としゆき）
（株）奥村組
技術研究所 土木研究グループ
主任研究員



西山 宏一（にしやま こういち）
（株）奥村組
東日本支社 リニューアル技術部 技術課
課長



粟津 利一（あわづ としかず）
（株）奥村組
東日本支社 リニューアル技術部 工事所
所長