

天井用車載型乾式研掃装置の用途拡充

－地下鉄および水再生センターへの適用－

Expanding Use of In-Vehicle Type Dry Grinding Device for Ceiling - Application to Underground Railway and Water Reclamation Center -

石井敏之* 木下知樹** 津村匡洋** 石川洋一**

要 旨

道路トンネル天井面の目荒しや塗膜除去作業において、従来人力で行っていたものを地上からの操作で全てが行えるように機械化した「天井用車載型乾式研掃装置」を開発した。本研掃装置の機能を拡充し、地下鉄および水再生センターの補修・補強工事の研掃作業に適用した。その結果、施工能力が人力施工に比して同等以上で、かつ粉塵の飛散防止による作業環境の改善および高所作業の低減による安全性の向上が図れた。また、仕上がり面の品質の向上を確認した。これらより、本研掃装置は道路トンネル以外の施設での研掃作業にも適用可能となり、同装置の用途拡充が図れた。

キーワード：研掃作業、機械化、天井面、効率化、省力化

1. まえがき

供用中の道路トンネル等を対象とした補修・補強工事では、夜間の限られた時間および空間内で作業を完了させる必要がある。そのうちコンクリート天井面の目荒しや塗膜除去を行う研掃作業は、高所作業台車上で重量のある吸引式のディスクサンダーを用いた上向き姿勢での人力作業となることから、作業の効率化、安全性の向上および仕上がり面の品質確保等の改善が求められている。

このような状況に鑑み、ボックスカルバート道路トンネル天井面の研掃作業において、発生した粉塵の飛散を防止し、高効率な作業が行える「天井用車載型乾式研掃装置」(以下、研掃装置)を開発し(写真-1)、都市高速道路トンネル剥落防止対策工事に適用したり。

多くの施設での天井面研掃作業においても、前述した課題の改善が求められている。そこで、この道路トンネル用に開発した研掃装置を、地下鉄の駅ホーム階軌道上天井面と水再生センターの放流渠天井面の研掃作業に適用し、用途の拡充を図った。本報では、適用に際して実施した研掃装置の改造概要と適用結果について報告する。

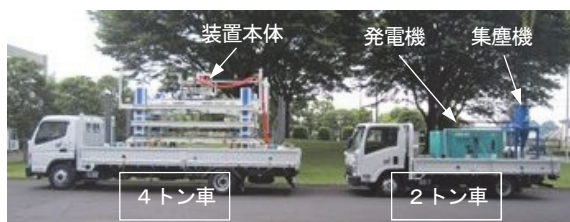


写真-1 研掃装置

2. 研掃装置の概要

研掃装置は、従来人力で行ってきた天井面の研掃作業を地上からの操作で全ての作業が行えるように機械化したもので、装置本体、集塵機、発電機、コンプレッサ、制御盤等から構成されている。

装置本体の外観を図-1、仕様を表-1に示す。装置本体は、天井面の研掃を行うケレン機、ケレン機を前後(走行方向)左右(横行方向)に移動させる架台、および架台を昇降させる多段式リフター等で構成されている。

ケレン機は、写真-2に示すように、研掃ヘッド、研掃ヘッドを天井面に一定の圧力で押し付ける押付け装置、および架台上を自走させる走行装置等からなり、研掃ヘッドを天井面に一定圧力で押し付けながら高速回転させ、架台上を走行して研掃作業を行う。研掃ヘッドは、写真-3に示すように、鋼製ビットを配した円盤状の研

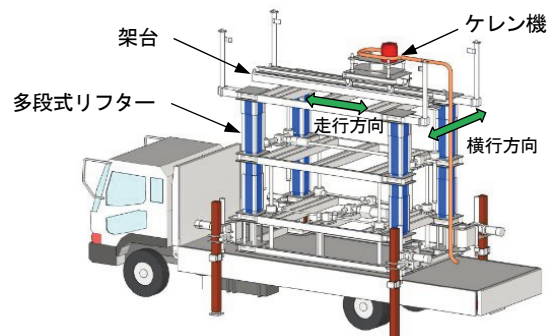


図-1 装置本体

*技術研究所土木研究グループ **東日本支社リニューアル技術部

表一 装置本体の仕様

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	0.2～0.9 kN
	鉛直凹凸	±40 mm 追従
	研掃幅	250 mm
多段式 リフター	昇降高さ	1,200 mm
	施工高さ	4.3～5.0 m
架台 (施工範囲)	走行範囲	2.69 m
	横行範囲	1.56 m
	面積	4.2 m ²

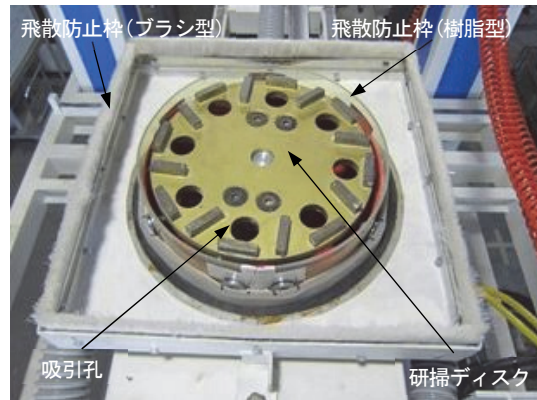


写真-3 研掃ヘッド



写真-2 ケレン機



写真-4 適用箇所（地下鉄）

研掃ディスクとその周囲に設けた二重の飛散防止枠（ブラシ型、樹脂型）からなる。発生した粉塵については、二重の飛散防止枠と研掃ディスク内に設けた 8 箇所の吸引孔より集塵機で吸引させて粉塵の飛散を防止する。

3. 地下鉄施設への用途拡充

3.1 適用現場の概要

地下鉄駅他構築補修工事での駅ホーム階軌道上天井面の塗膜除去に研掃装置を適用した。同駅は地下 3 層構造になっており、地下 2 階が下り線、地下 3 階が上り線である。適用した箇所は、写真-4 に示す下り線駅ホーム階の軌道上天井面である。集電方式は第三軌条方式であり、天井面に架線がない構造となっている。施工範囲は、施工延長 140m、施工幅 2.96m の約 414m²（うち研掃装置による適用範囲は約 272 m²）で、その線形は、駅進入部に R=250m のカーブがあり、それ以降直線となっている。

3.2 研掃装置の改造

道路トンネル用に開発した研掃装置を、地下鉄駅ホーム階軌道上天井面の研掃作業に適用するため、以下について変更と改造を行った。

従来の研掃装置は、写真-1 に示したように 4 トン車と 2 トン車の 2 台の車両編成で移動・作業を行う仕様であった。今回、地下鉄軌道上で使用するため、研掃装置



写真-5 研掃装置の車両編成（地下鉄）

の車両編成は、写真-5 に示すように、15 トントロ台車 2 台と牽引車としてモーターカーの 3 両編成に変更した。

従来の研掃装置の施工幅 1.56m では、トロ台車の位置関係から、軌道上天井面の施工幅 2.96m のうち両端 0.7m の範囲が施工できない。この範囲を少なくするため、装置本体下端に、写真-6 と図-2 に示すようなスライド装置を設け、両側に 0.3m ずつ移動可能にして、研掃装置による施工幅を 1.56m から 2.16m に拡張できるように改造した。このスライド装置は、トロ台車に固定した溝形鋼 250×90（長さ L=2.3m の溝形鋼を施工幅拡張側の車両限界まで張り出す）上を、装置本体の下端に取り

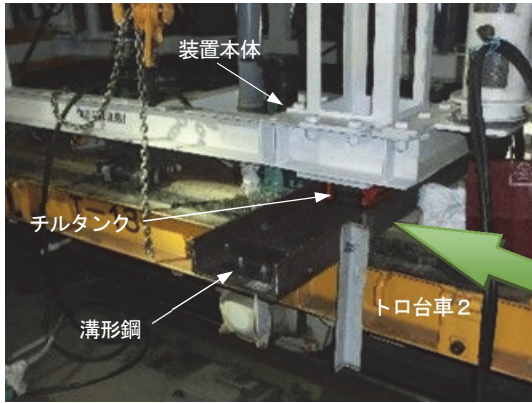


写真-6 スライド装置

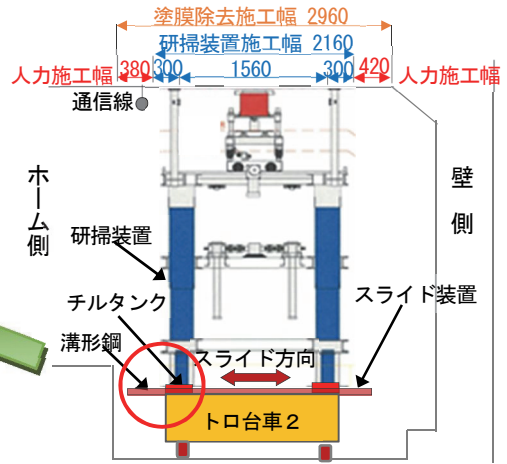


図-2 施工幅拡大方法

付けたチルトタンク（超低床型エンドレスローラ）で装置本体を両側にスライドさせる機構となっている。これにより、研掃装置の施工幅は、ホーム側の通信線近傍から壁側のハンチ手前約 0.4m までとなり、人力による施工範囲を減少させることが可能となった。

3.3 適用結果

a. 適用状況

研掃装置と吸引式ディスクサンダーによる人力施工の状況を写真-7、8に示す。施工時間は、き電停止後の0:50から通電開始前の4:00までの約3時間であった。施工手順は以下の通りで、作業の準備・撤収に約1時間を要するため、実質の研掃作業は約2時間であった。

- i. 研掃装置を駅ホームに入線
- ii. 研掃装置を設置後、装置本体をスライド
- iii. ケレン機を天井面に押し付け、走行・横行させて塗膜を除去（写真-9）
- iv. ケレン機を下降させ、次の研掃位置にモーターカーで移動後、iiiの繰返し
- v. 研掃装置を駅ホームから退出

なお、研掃装置の塗膜除去条件は、現場での条件設定実験により、ケレン機の押付け力 0.7kN、走行速度 4m/min、走行回数 2~4（同じラインを走行する回数）とした。

b. 施工能力

研掃装置と人力施工による施工出来高を表-2に示す。なお、作業員の編成としては、研掃装置を使用する場合、装置の操作者1名、集塵処理等を行う補助員1名、モーターカー運転者1名の計3名である。人力施工では2~4人が1班編成として作業を行った。

作業の準備・撤去時間は、研掃装置が約1.0時間であるのに対し、人力施工では約1.5時間であった。これは、研掃装置では全てが車載されているため移動・設置が容易であるのに対し、人力施工では足場の組立解体や材料運搬等の作業により多くの時間を要したことにある。その結果、研掃装置による施工では、人力施工に比して実質の研掃作業時間が増加することとなった。



写真-7 研掃装置による施工状況

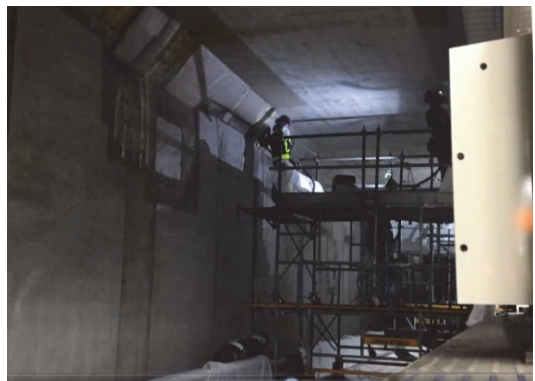


写真-8 人力による施工状況

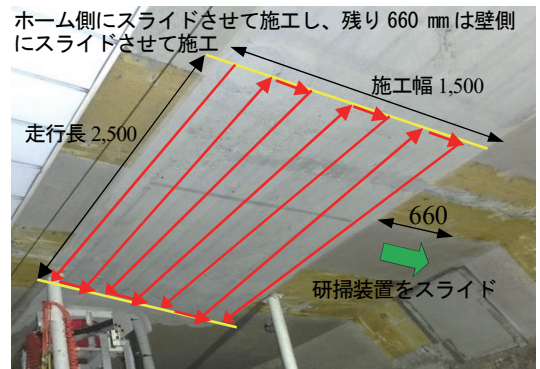


写真-9 ケレン機の施工パス

表-2 施工出来高 (地下鉄)

項目	研掃装置	人力施工
施工面積	272 m ²	133 m ²
施工日数	15 日	23 日
日平均施工面積	18.1 m ² /日	5.8 m ² /日
日作業員数	3 人	2~4 人
施工能力	6.0 m ² /人日	2.1 m ² /人日

表-2より、日平均施工面積は、研掃装置で 18.1m²/日、人力施工で 5.8m²/日であった。作業員 1 人当たりの施工能力は、研掃装置で 6.0m²/人日、人力施工で 2.1m²/人日であり、天井面の研掃作業に研掃装置を適用することによって、施工能力が約 3 倍となり、研掃作業の効率化が図られる結果となった。

c. 仕上がり面の品質

研掃装置と人力施工による塗膜除去の仕上がり面を写真-10 に示す。目視観察によると、人力施工では仕上がり面に塗膜除去のばらつきがみられるが、研掃装置では確実かつ一様に塗膜が除去されており、仕上がり面の品質が向上している。



写真-10 研掃による仕上がり面の状況

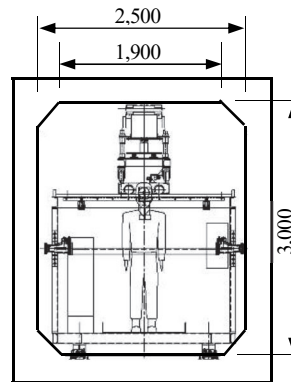


図-3 放流渠の形状

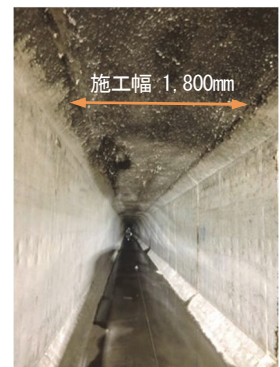


写真-11 放流渠の外観

4. 水再生センター施設への用途拡充

4.1 適用現場の概要

水再生センターでの狭い放流渠の耐震補強工事に於ける天井面の目荒し作業に研掃装置を適用した。なお、放流渠の耐震補強は、既設構造物コンクリート面に 0.2m の増し厚コンクリートを施工するものである。図-3と写真-11 に示すように、放流渠の内空は、幅 2.5m×高さ 3.0m (4 隅に 0.3m のハンチ) の狭い矩形断面である。施工範囲は、施工幅 1.8m、施工延長約 300 m で、線形が直線となっている。このうち、小型研掃装置は延長約 150m に適用した。なお、天井幅は 1.9m であるが、両端 0.05m に装置の研掃ヘッドが届かないため、施工幅は 1.8m とした。

4.2 研掃装置の改造

道路トンネル用に開発した研掃装置をそのまま適用することは、放流渠の大きさから困難であった。そこで、装置本体の架台を昇降させる多段式リフターに換えて小型移動用台車を製作し、その小型移動用台車に架台とケレン機を配置した小型研掃装置に改造した (写真-12)。集塵機、ケレン機および制御装置類等は、研掃装置のものをそのまま利用した。この改造では、ケレン機の横行方向の施工幅を、1.56m から放流渠の形状に合わせて 1.8m に変更した。

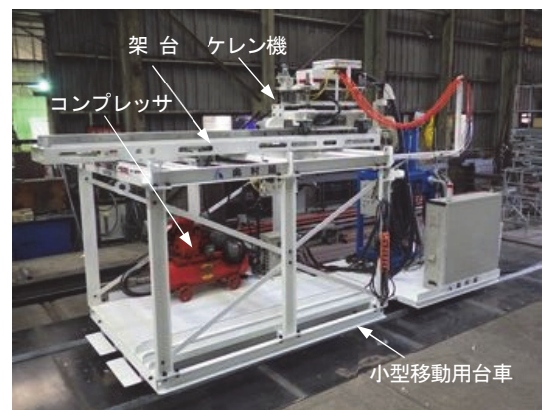


写真-12 小型研掃装置



写真-13 小型研掃装置による施工状況

4.3 適用結果

a. 適用状況

適用現場は、ウォータージェット（以下、WJ）による人力施工が標準設計であった。小型研掃装置と WJ による施工状況を写真-13、14 に示す。小型研掃装置による施工手順は地下鉄施設への適用時とほぼ同じであるが、移動手段は、底盤にレールを設け、電動式ウインチでけん引した。

小型研掃装置による目荒しの施工条件は、現場での条件設定実験により、ケレン機の押付け力 0.6kN、走行速度 2.0m/min、走行回数 1 回とした。

b. 施工能力

小型研掃装置と WJ の施工出来高および付着強度試験結果を表-3 に示す。なお、作業員の構成としては、小型研掃装置の場合、装置の操作者 1 名、装置の移動等を行う補助員 1 名の計 2 名である。WJ の場合、高圧ポンプ操作者、WJ ハンドガン操作者の各 1 名、清掃およびホース番（WJ ハンドガン操作交代員）2 名の計 4 名の編成で作業を行った。

日平均施工面積は、小型研掃装置で 65m²/日、WJ で 130m²/日であり、作業員 1 人当たり施工面積に換算すると、ともに施工能力は 32.5m²/人日であった。小型研掃装置の 1 回の設置での施工は、面積が約 4.5m²（走行 2.5m×横径 1.8m）、走行ライン数が 9 ラインで、作業時間が装置の移動等を含めて平均で約 25 分であった。今回の小型研掃装置の適用は、総施工日数が 3.7 日間で、施工面積が約 240m²と小規模であったため、機械化による施工の効率化が十分に発揮できるまでに至らなかったと考えられる。

今回、作業員 1 人当たりの施工能力は同程度であったが、小型研掃装置を適用することで、作業時に発生した粉塵の飛散が防止され、閉鎖空間内での作業環境が大幅に改善された。同時に、無理な上向き姿勢での作業から解放され、作業員にかかる負担が大きく軽減できた。これらより、小型研掃装置の適用によって、天井面の研掃作業の効率化が図れることが確認できた。

c. 仕上がり面の品質

仕上がり面の目荒しの程度を評価するため、建研式付着力試験を行った。小型研掃装置の施工による付着強度は WJ より小さくなっているが、一般的な付着強度の規格値²⁾である 1.5N/mm²の 2 倍程度であり、仕上がり面の付着性能は十分に得られていることを確認した。

5. あとがき

都市高速道路のボックスカルバート天井面の塗膜除去に続いて、地下鉄駅ホーム階軌道上天井面、および水再生センターの狭隘な矩形断面をもつ放流渠天井面の研掃作業に、研掃装置を適用した。その結果、施工能力は、



写真-14 WJによる施工上状況

表-3 施工出来高（水再生センター）

項目	小型研掃装置	WJ
施工面積	240 m ²	—
施工日数	3.7 日	—
日平均施工面積	65 m ² /日	130 m ² /日
日作業員数	2 人	4 人
施工能力	32.5 m ² /人日	32.5 m ² /人日
付着強度	2.93 N/mm ²	3.83 N/mm ²

地下鉄駅構造物では吸引式ディスクサンダーによる人力施工に比して約 3 倍向上し、水再生センターでは WJ による人力施工と同等であった。また、研掃装置の適用により、粉塵の飛散防止によって閉鎖空間内での作業環境が大幅に改善され、さらに高所作業が低減することによって作業の安全性が向上することを確認した。これらのことから、道路トンネルだけでなく、地下鉄等の施設に本研掃装置を適用することが可能であり、研掃作業の効率化および省力化が図れることを確認できた。

今後の研掃装置の適用として、今回適用した地下鉄駅構造物部の地下 3 階上り線ホーム階の軌道上天井面の塗膜除去を行う予定である。その適用に際しては、壁側の残り約 0.4m 部分を研掃装置で施工できるように施工幅を拡げる改造を実施している。

本研掃装置については、さらなる適用範囲を拡げることを目指すと同時に、補修・補強工事における労働力不足等への対応を図れる技術として活用していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 石井敏之、「天井用車載型乾式研掃装置の開発と現場適用」、平成 27 年度 新技術・新工法に関する講習会（一社 日本建設業連合会）、pp.12-16、2016.2
- 2) 例えば、NEXCO 総研他、「構造物施工管理要領」、平成 29 年 7 月版、p.III-242