

38. 天井用車載型乾式研掃装置の自動化運転による地下鉄補修工事への適用について

株式会社奥村組
株式会社奥村組
株式会社奥村組

○丸山 八大
津村 匡洋
石井 敏之

1. はじめに

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表層脆弱部や塗膜の除去、および目荒らし等の研掃作業は、重い吸引式のディスクサンダー等を用いた上向き姿勢による人力作業となっている。そのため、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などの改善すべき課題があった。

このような状況に鑑み、地上からの操作で天井面の研掃作業を自動化運転で行え、発生した粉塵の飛散を抑止し、高効率な作業を可能とした「天井用車載型乾式研掃装置」（以下、研掃装置）を開発した（写真-1）。

用途拡充として、本研掃装置を地下鉄補修工事の駅ホーム階軌道上天井面（以下、軌道上天井面）の研掃作業に適用した。適用結果と今後の課題について報告する。

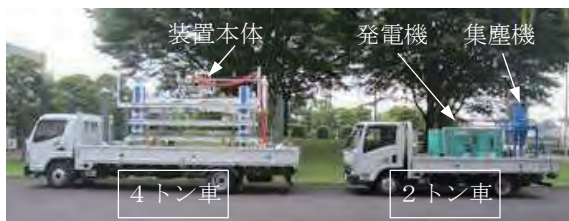


写真-1 研掃装置

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自動化運転できるように機械化したもので、装置本体、集塵機、発電機、コンプレッサー、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、研掃を行うケレン機、ケレン機を前後左右に移動させる架台および昇降させる多段式リフ

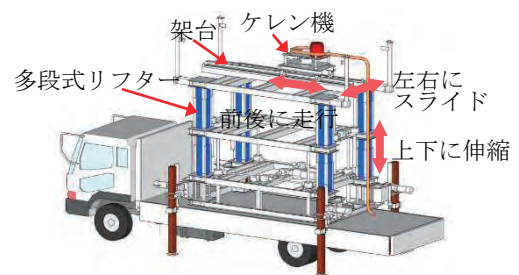


図-1 装置本体

表-1 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
	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

ター等で構成されている。

ケレン機（写真-2）は、天井面を研掃する研掃ヘッド、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構成される。研掃作業は、高速で回転する研掃ヘッドを天井面に一定圧力で押し付けながら架台上を走行させることで行う。

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し粉塵の飛散を防止する。



写真-2 ケレン機

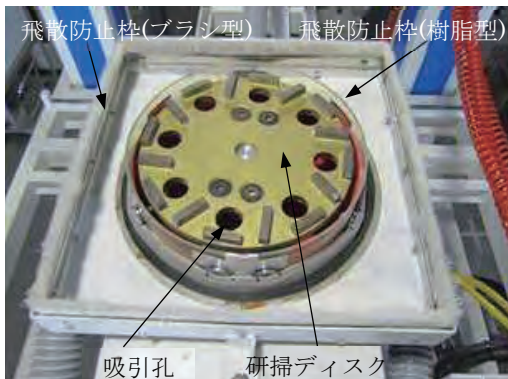


写真-3 研掃ヘッド

3. 地下鉄施設への用途拡充

3.1 適用現場の概要 (下り線)

地下鉄駅他構築補修工事での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。集電方式は第三軌条方式であり、天井面に架線が無い構造となっている。

最初の適用箇所は、写真-4に示す地下2階下り線軌道上天井面である。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272m²) で、軌道線形は駅進入部にR=250mのカーブがあり、それ以降直線となっている。

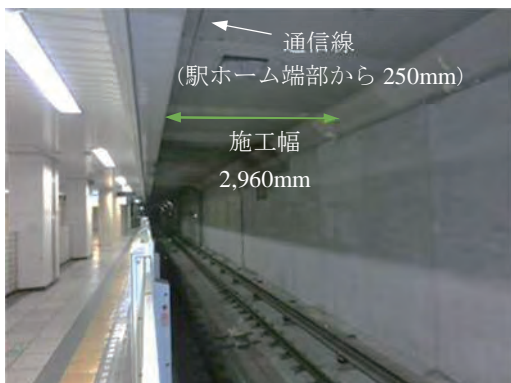


写真-4 適用箇所下り線駅ホーム階

3.2 研掃装置の変更・改造

道路トンネル用に開発した研掃装置を、地下鉄軌道上天井面の研掃作業に適用するため、以下の変更と改造を行った。

(1) 研掃装置の車両編成の変更

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台と牽引車としてのモーターカーの3両編成に変更した。



写真-5 研掃装置の車両編成 (地下鉄)

(2) 研掃装置の改造

従来の研掃装置の横行範囲である施工幅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。この範囲を小さくするため、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、両端に0.3mずつ移動ができるようにして施工幅を1.56mから2.16m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側溝250×90 (長さL=2.3mの溝形鋼を施工幅拡幅側の車両限界まで張り出す) 上を、装置本体の下端に取りつけたチルトタンク (超低床型エンドレスローラー) で装置本体を両側にスライドさせる機構とした。

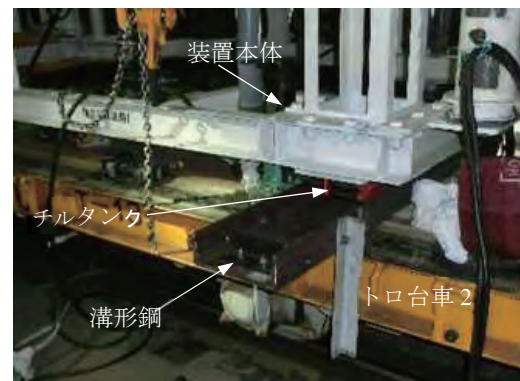


写真-6 スライド装置

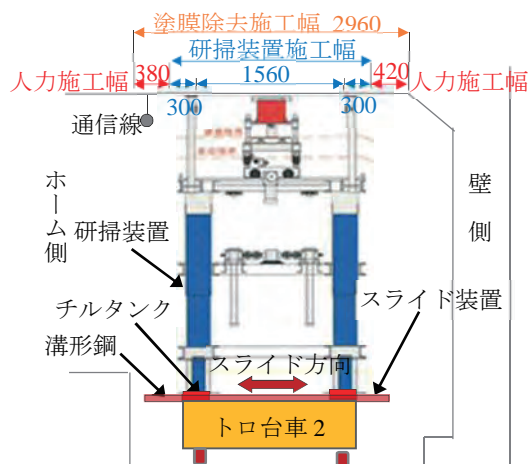


図-2 施工幅拡大方法（下り線）

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0.42mまでとなり、人力による施工範囲を小さくすることが可能となった。

3.3 適用結果（下り線）

(1) 適用状況

研掃装置による自動化施工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。

- ① 研掃装置を駅ホームに入線
- ② 研掃装置を設置後、装置本体をスライド
- ③ 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）
- ④ 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、③の繰返し
- ⑤ 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、ケレン機の押し付け力0.7kN、走行速度4m/min、走行回数2~4回（同じラインを走行する回数）とした。



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

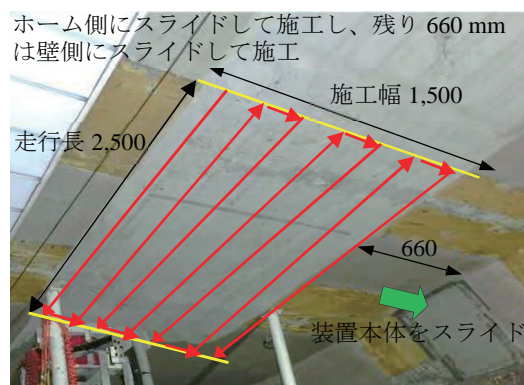


写真-9 ケレン機の施工パス

(2) 施工能力

研掃装置と人力施工による施工歩掛を表-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、集塵処理などを行う補助員1名、モーターカー運転者の1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に加えて、粉塵対策養生が必要となり、それらの作業により多くの時間を要したことがある。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した。

人力施工は粉塵の発生を抑制することが出来ないため作業環境は悪かったが、研掃装置は発生する粉塵を吸引、抑制するため良好な環境で作業を行うことができた。

また、研掃装置は地上からの操作による作業であることから、高所作業が無くなり安全性の向上が実現した。

表-2 施工歩掛（下り線）

項目	研掃装置	人力施工
施工面積	271.2 m ²	146.6 m ²
施工日数	15 日	38 日
日平均施工面積	18.1 m ² /日	3.9 m ² /日
日作業員数	3 人	2~5 人
施工能力	6.0 m ² /人日	1.2 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 3.9m²/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 1.2m²/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 5 倍となり、研掃作業の効率化を図ることができた。

また、下り線ケレン面積の設計数量 417.8m²に対して、研掃装置の施工が 271.2 m²であったため、研掃装置による施工比率は 64.9%であった。

(3) 仕上がり面の品質（下り線）

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ぼらつきがみられるが、研掃装置では確実に均一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（下り線）

(4) 評価

研掃装置の施工と人力施工の歩掛、安全性、品質を比較したところ、研掃装置の適用により効率よく安全に高品質な研掃作業を可能とすることが確認できた。

この結果より、研掃装置の施工範囲を拡げて人力施工の負担をできるだけ減らすことが、課題として挙げられる。この課題を次施工に反映させることでより効率のよい施工が可能と考えられる。

(5) 問題点

下り線を施工したことで発生した主な問題点を以下に示す。

①構造上、装置本体の施工範囲幅が 1.56m と決ま

っているため、装置本体をチルトタンクでスライドさせたとしても未施工範囲が両端に約 0.4m ずつ残ってしまうため、人力施工の負担が残った。②写真-11 に示すように、粉塵飛散防止枠のブラシの消耗が激しい。限られた作業時間の中での交換作業は歩掛に影響した。



写真-11 粉塵飛散防止枠（ブラシ型）損傷状況

③天井面に補修した凸部がある場合、ケレン機が凸部に近づくと反力タイヤが先に接触するため、補修面の周囲を研掃することができずに人力施工の範囲が増えた（写真-12）。

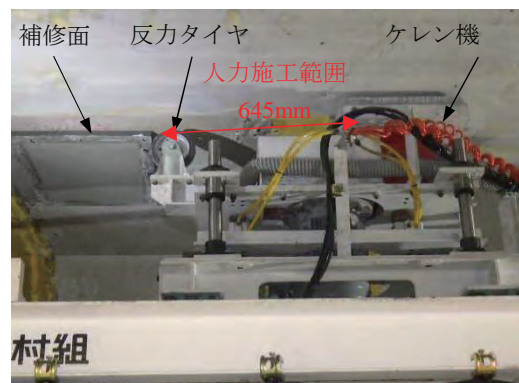


写真-12 凸部接触状況

4. 研掃装置の再改造

地下 3 階上り線軌道上天井面も施工対象となっているため、前述した問題点を改良して施工を行うこととした。

改良点を以下に示す。

①装置本体の施工幅を広げるために、写真-13 で示す張出し型拡幅用横行レールを多段リフターに取り付けた。ケレン機の片側施工幅を 240mm 拡幅できた。



写真-13 張出し型拡幅用横行レール

- ② 粉塵飛散防止枠のブラシの形状を、四角形から交換が容易な丸形に変更した。また、ブラシの強度を上げて耐久性を向上させた。
- ③ 写真-14 に示すように、反力タイヤを樹脂製ボールキャスターに変更して設置位置を研掃ヘッドに近づけることで、人力施工範囲を 645mm から 225mm まで縮小させた。

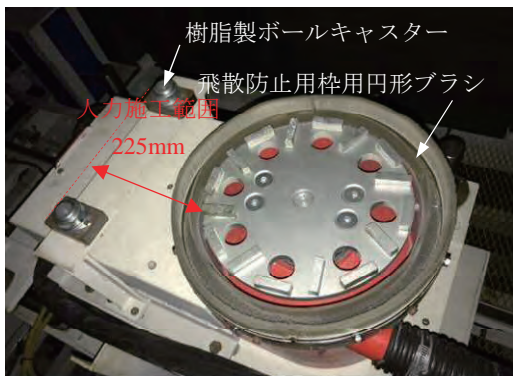


写真-14 改良後ケレン機

- ④ ケレン機の施工幅を拡大させたことで、架台を上昇させる際に天井面との接触を感知するセンサーポールがケレン機の走行に支障する。センサーポールと架台の間に間隔拡張材を挿入してケレン機の走行に支障の無い位置に設置した(写真-15)。



写真-15 改良後接触センサーポール

- ⑤ 走行と横行のモーターが過負荷エラーにより、作動停止することが発生したため、容量を上げたモーターへ交換した。

上記の再改造によって、図-3 に示すように施工範囲を拡げることができた。

なお、ホーム側に人力施工幅 100mm が生じるのは、スライド装置を引っ張る作業スペースの確保がホーム側で困難なためである。

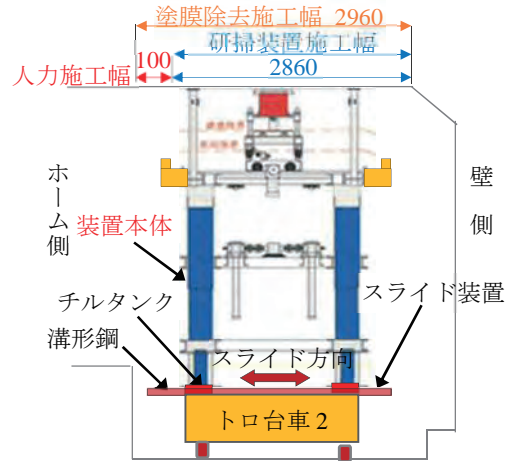


図-3 施工幅拡大方法(上り線)

5. 研掃装置改良後の地下鉄施設への再適用

5.1 適用現場の概要(上り線)

上り線は下り線の構造と同じであるため、施工範囲・条件はほぼ同様である。一部、下り線天井部に設置されていた施設物が上り線には含まれていない等の違いはある。

5.2 適用結果(上り線)

(1) 適用状況

施工時間、施工手順、作業員の編成は下り線施工時と同様である。施工状況を写真-16 に示す。

再改造による施工範囲の拡大で人力施工の負担を軽減させた。



写真-16 上り線施工状況

(2) 施工能力

上り線での研掃装置と人力施工による歩掛を表-3に示す。

表-3より、日平均施工面積は研掃装置で16.0m²/日、人力施工で3.3m²/日であった。作業員1人当たりの施工能力は、研掃装置で5.5m²/人日、人力施工で0.9m²/人日である。天井面の研掃作業に研掃装置を適用することによって、施工能力は約6倍となった。

また、上り線ケレン面積の設計数量369.3m²に対して、研掃装置の施工が286.9m²であったため、研掃装置による施工比率は77.7%であった。

歩掛を下り線施工時と比較すると、上り線の歩掛は低下しているが施工能力、施工比率は共に向上した。

再改造の結果が、大きく施工比率を向上させた要因となり人力施工の負担を大きく減少させた。下り線と比べて、上り線は施設物が無かった事も向上の要因の一つであった。

歩掛の低下に関しては、下り線に比べて上り線は写真-17に示すように補修面が多く存在し、研掃装置1セットに対しての研掃面積が少なくセットの盛替えが多くなったためである。しかし、過負荷による機械エラーやブラシ交換は下り線施工時より格段に減少したため、安定した施工が可能となった。

表-3 施工歩掛（上り線）

項目	研掃装置	人力施工
施工面積	286.9 m ²	82.4 m ²
施工日数	18日	25日
日平均施工面積	16.0 m ² /日	3.3 m ² /日
日作業員数	3人	3~4人
施工能力	5.3 m ² /人日	0.9 m ² /人日

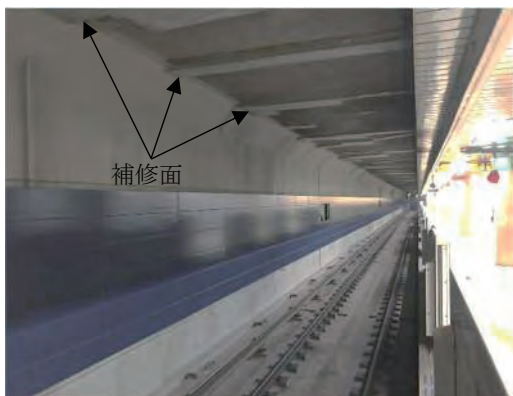


写真-17 補修面（上り線）

(3) 仕上がり面の品質（上り線）

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-18に示す。下り線と比較すると、研掃装置の施工幅が拡大し、人力施工の範囲が補修面の周囲とホーム側の僅かな部分だけとなっていることが分かる。

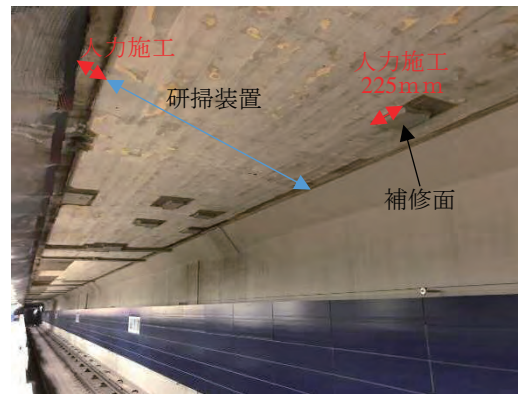


写真-18 研掃による仕上がり面の状況（上り線）

6. 今後の課題

研掃装置の再改造により、施工効率を更に上げることを実現したが、施工条件がより厳しい場合でも、安定した施工を実現させるには、次のような課題が挙げられる。

- ・補修面の凸部や施工範囲に施設物が存在する場合に対応するため、研掃範囲を障害物に近接する範囲まで拡張する必要がある。
- ・天井面の縦断方向の勾配に追従する機能に、横断方向の勾配に追従する機能を付加すると緩やかな局面にも対応できる。

このような課題を解決することにより、研掃装置の適用場面が多くなり、補修工事の省力化を図ることができると考えられる。

7. おわりに

供用中の道路トンネル等を対象とした研掃装置の改造を行い、地下鉄補修工事への適用を実現した。

施工結果から、人力による施工より約6倍の施工効率で研掃作業を行う事ができ、安全面、品質面の向上も図られることが分かった。今後は、今回の施工結果を生かして他現場へ積極的に展開していきたい。