

研掃システムの適用拡大

－システムの改良と現場適用の結果－

Expanded Application of Dry Grinding System for Concrete Surfaces

- System Modifications and Results of On-site Applications -

西山宏一* 栗津利一* 石井敏之** 川澄悠馬**

要 旨

構造物の補修・補強工事における研掃作業は、ウォータージェットやサンドブラスト、ディスクサンダ等を用いて表面の脆弱層を除去するため、粉塵や水しぶきが飛散する環境での無理な姿勢による繰り返し作業となることが多く、作業効率の低下、処理面のばらつきや作業環境の悪化が問題となっている。これらの問題を解決するため、これまで研掃作業の自動化による作業の効率化や作業環境の改善に取り組み、5 台の研掃装置を開発している。しかし、開発した研掃装置を施工条件が様々なあらゆる現場へ適用することは難しく、構造物に応じた改良を必要とする。その結果、適用を重ねるたびに、研掃装置はブラッシュアップされ、適用範囲を拡大してきた。今回、首都高速道路湾岸線多摩川トンネルのコンクリート片剥落防止対策工に伴う素地調整工に「天井用車載型乾式研掃装置」の適用の機会を得たが、既存の装置の施工可能高さが不足するという課題に対応するために改良を加えた。その結果、さらに汎用性が高く、施工効率の良い装置となった。

キーワード：補修工事、剥落防止、研掃、自動化、効率化、粉塵の飛散防止

1. まえがき

我が国の建設分野においては、高度経済成長期に整備されたコンクリート構造物の急速な老朽化が進行する中、少子高齢化による労働者不足、低い労働生産性、施工現場の安全確保などの直面している課題に対して、省人化や自動化による生産性の向上、危険作業の減少を目的にロボット技術の導入が求められている。

当社が関わる補修・補強工事には、前処理として既設コンクリート表面の脆弱層、劣化塗膜の除去及び目荒し等の研掃作業がある。この研掃作業は、写真－1 に示すように、ディスクサンダや高水圧のウォータージェット（以下、WJ）等を用いて人力により行われている。こ



写真－1 人力による壁面の研掃作業

の人力による研削処理は、高所作業車等の上で、作業員が天井を見上げたり、壁や柱へ乗り出すような無理な姿勢で行われ、粉塵等が飛散した劣悪な環境での作業となっている。そのため、作業員の技量差に起因する処理面仕上がりのバラツキによる品質の低下、発生したミスト・粉塵による作業環境の悪化、高所での無理な姿勢で重い動力工具を用いた作業による安全性の低下と作業効率の低下等の問題が指摘されている。そこで、これらの問題を解決するため、平成 21 年から研掃作業の機械化・自動化に取り組み、令和 2 年までの 11 年間で 5 種類の研掃装置を開発し、作業の効率化や作業環境の改善、処理面の品質向上、作業安全性の確保を図ってきた。さらに、開発した装置の現場適用を積み重ねながらブラッシュアップして、適用範囲を拡大してきた。

今回、首都高速道路湾岸線多摩川トンネルのコンクリート片剥落防止対策工に伴う素地調整工に「天井用車載型乾式研掃装置（以下、天井用乾式研掃装置）」を適用する機会を得たが、既存の装置の施工可能高さが不足していたため、さらに汎用性の高い装置を目指し改良を加えた。本報では、これまで開発した研掃装置と改良事例を紹介し、今回の現場適用に向けた改良の概要と適用結果について報告する。

* 東日本支社リニューアル技術部 ** 技術研究所土木研究グループ

2. これまで開発した研掃装置（システム）

2.1 研掃装置（システム）の概要

開発した研掃装置は、従来、無理な姿勢で重たい動力工具により作業員が行っていた研掃作業を自動運転で行うことができ、同時に発生したミスト・粉塵を遮断・吸引して飛散を抑止することができる。これによって、処理面仕上がりの品質の均一化、発生したミスト・粉塵の飛散抑止による作業環境の改善、高所での人力作業がなくなることによる安全性の確保及び作業効率の向上が図れる。研掃装置には、WJによる壁・柱用と天井用、床用の3種類の湿式研掃装置と回転研削による天井用乾式研掃装置、曲面の天井面に対応できるバキュームブラストによる乾式研掃システムの計5種類があり、施工場所の広さ、作業時間の長さ、水使用の可否、対象構造物の形状等の施工条件に応じて、装置を選択できる。以下、5種類の研掃装置を簡単に紹介する。

2.2 WJによる壁・柱用湿式研掃装置¹⁾

WJによる壁・柱用湿式研掃装置を図-1に示す。この装置は、昇降・左右・前後へスライド可能な鋼製ガイドに組み込まれたWJ装置を、エアースリンダで壁・柱

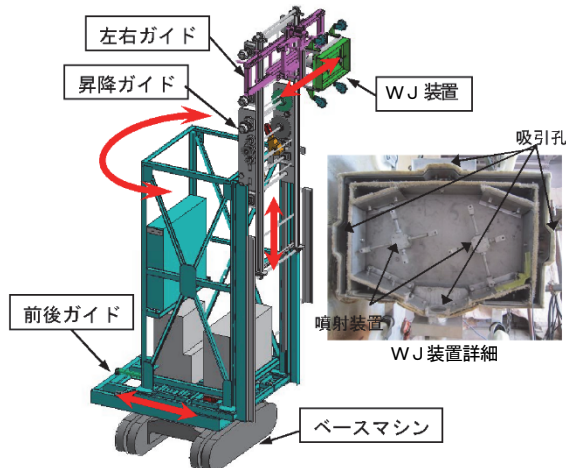


図-1 WJによる壁・柱用湿式研掃装置

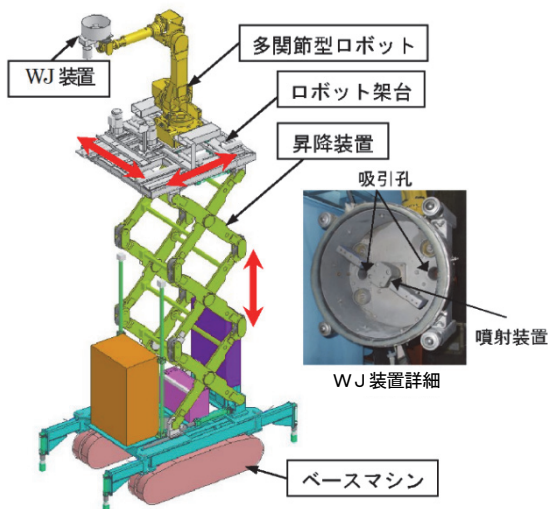


図-2 WJによる天井用湿式研掃装置

の研掃面に一定の圧力で押し付けながら一定速度で移動させることで研掃を自動化した。移動は旋回が可能な電動式のクローラ型ベースマシンで行う。

2.3 WJによる天井用湿式研掃装置

WJによる天井用湿式研掃装置を図-2に示す。この装置は、WJ装置を装備した多関節型ロボットに施工範囲の始点と終点を手動操作で教示すると研掃を自動的に実行する。多関節型ロボットはロボット架台上を前後、左右に移動できるので、施工範囲が広がっている。そのロボット架台は昇降装置で上下に移動し、電動式クローラ型ベースマシンで任意の方向へ移動することができる。

2.4 WJによる床用湿式研掃装置

WJによる床用湿式研掃装置を写真-2に示す。移動速度をインバータ制御できる台車に、床面までの高さが調整できるWJ装置を搭載している。その台車上の制御盤で移動速度と進行方向を設定することにより自動的に研掃を開始する。

2.5 回転研削による天井用乾式研掃装置²⁾

回転研削による天井用乾式研掃装置を図-3に示す。研掃装置は、道路トンネルを対象に開発したので、研掃装置本体は4トン車に、集塵機、発電機等は2トン車に搭載している。研掃装置本体を車両で所定の位置に移動し、アウトリガで支持する。その後、天井面接触センサーで停止するまで多段式リフタを上昇させ、ケレン機の研掃ヘッドを高速回転させながら天井面に一定圧力で押し付け、一定速度で自動運転させることにより研掃を行う。

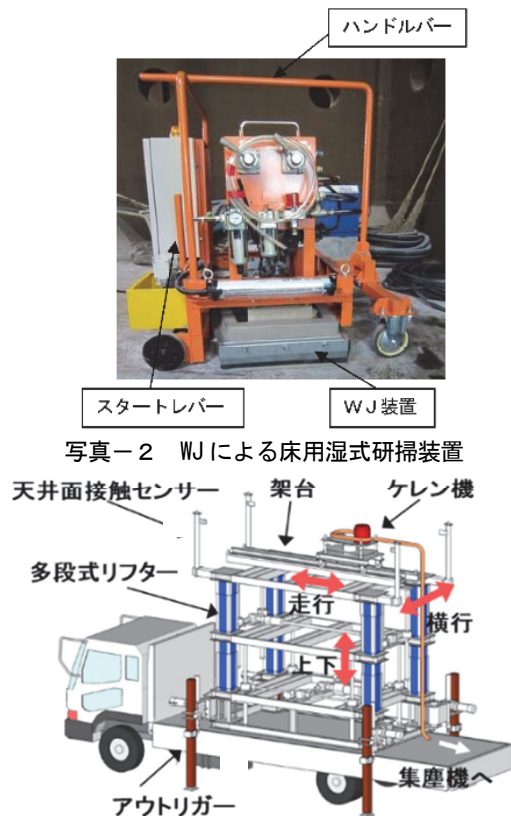


図-3 回転研削による天井用乾式研掃装置

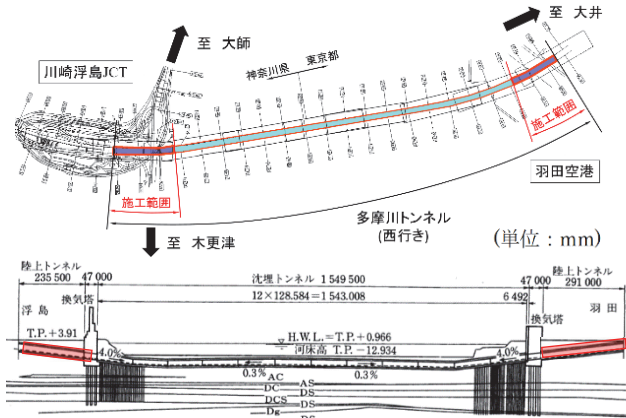


図-5 多摩川トンネルの概要と施工位置

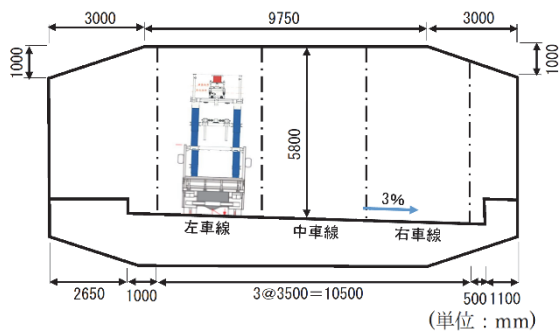


図-6 多摩川トンネル断面



写真-6 適用トンネル内の状況

3.3 今回の天井用乾式研掃装置の改良

従来の研掃装置は2.5節に示したように、研掃を行うケレン機、ケレン機を天井面まで上昇させる多段式リフタ、研掃面を水平にするアウトリガが一体化され、4トン車に積載して運搬するため、公道の走行高さ制限3.8mの制約から最大施工高さが5.6mであった。しかし、今回適用する多摩川トンネルは天井面の高さが約6mであったため、施工可能高さの拡張が必要となった。また、リフタによりケレン機と研掃面は、道路の縦断勾配には対応できるが、横断勾配には十分に対応できなかった。そこで、施工性の向上、適用範囲の拡大を図る改良も加えて行った。以下に改良のポイントを示す(写真-7)。

- i. 一体化していた研掃装置から多段式リフタとアウトリガを取り除き、ケレン機を別の架台に取り付けた

- ii. 架台は、荷台昇降車の最大積載荷重1.2トン以下になるように、主な構成部材にアルミ材を使用し、軽量化・小型化した
- iii. ケレン機・架台・鉛直ジャッキから構成される新たな装置本体を、作業床が5mまで昇降できる荷台昇降車へ積載した(写真-8)。その結果、7.0mの天井高まで対応可能となった。また、荷台昇降車が作業床を上昇したまま移動できるため、盛替え時間も短縮できた
- iv. 架台の下部には、縦横断の道路の勾配に対応するため、最大ストロークが300mmの鉛直ジャッキを4本取り付けてケレン機を天井面へ密着させ、粉塵飛散防止と研掃面の品質向上を図った
- v. 昇降機構を装置から切り離したことで接触センサによる制御ができないため、操作用のペンダントスイッチに加えて、四隅の天井までの距離、ジャッキのストローク長を確認できるようタッチパネルモニタを装備した

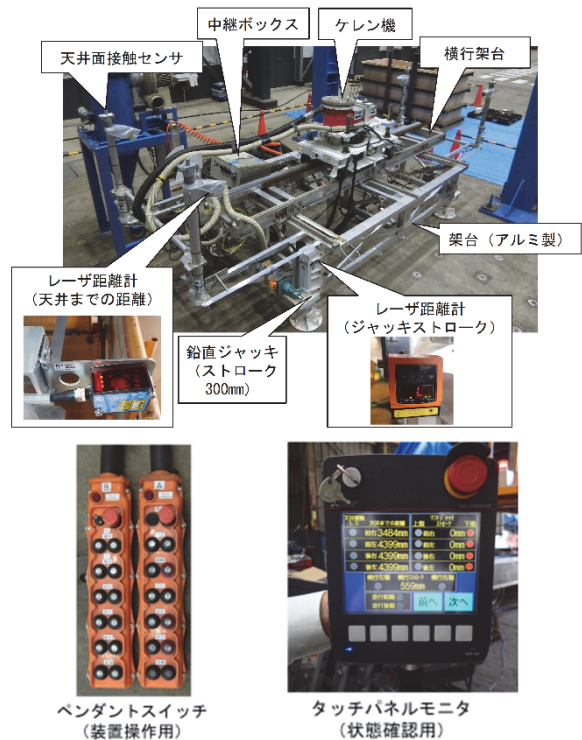


写真-7 改良後の研掃装置



写真-8 研掃装置と施工状況

3.4 適用結果

a. 適用状況

改良した研掃装置による施工フローを以下に、施工状況を写真-9に示す。

- ① 車線規制後、施工場所へ改良した研掃装置が入場
- ② 研掃位置に装置本体を積載した荷台昇降車及び3トン車を設置後、ローラージャッキの設置、装置本体・3トン車上の各機器の配線・配管接続
- ③ 荷台昇降車の上昇及び装置本体の鉛直ジャッキを伸ばし、ケレン機を天井面に押し付け、走行・横行させ、天井面の排ガスの汚れ等を主に除去
- ④ 鉛直ジャッキを縮め、天井面とケレン機との間に隙間(約10cm)を作り、荷台昇降車・3トン車を走行させ、次の研掃位置へ移動・設置
- ⑤ ③、④を繰り返し実施
- ⑥ 鉛直ジャッキを縮め、荷台昇降車の下降、各種配線・配管の片付け実施
- ⑦ 荷台昇降車及び後続台車が規制車線より退出

研掃作業時は、ケレン機が走行方向移動と横断方向移動を繰り返し、約4.0m²の面積を1セットとして研掃を行った(写真-10)。

施工条件として、道路規制は片側三車線のうち一車線供用下の二車線規制で、作業時間は車線規制を二車線に拡幅後の23時30分から翌3時30分までの約4時間である。

研掃条件は、現場での施工試験をもとに、研掃面の品質に影響するケレン機の押し付け力を600N、移動速度を約5.8m/minとした(写真-11)。



写真-9 施工状況

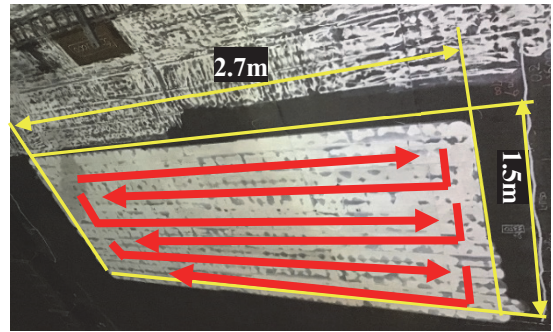


写真-10 研掃経路

b. 施工効率

実際の平均作業時間は、作業準備(①②)で平均48分、研掃作業(③~⑤)で平均123分、片付け(⑥⑦)で平均17分と



写真-11 研掃状況

なり、実質の作業時間は約3時間であった。研掃装置による施工ができない部分は人力施工で行っているため、4時間のうち約1時間は人力施工を行っていたことによるものである。図-7に、人力施工と改良した研掃装置(機械施工)による施工効率を示す。

人力施工の施工効率は平均11.1m²/hであった。なお、この人力施工の施工効率は、作業時間6時間として、人力施工面積に対する従事した作業員数から、作業員1人に対する時間当たりの施工面積を算出し、作業員3人からなる1班当たりへ換算したものである。また、準備・撤去・休憩時間を含んでいるので、長時間連続した施工による施工効率の低下を考慮している。

改良した研掃装置の施工効率は、準備・撤去・休憩時間を含めて、平均11.8m²/hとなった。適用初期は操作になれていなかったことから、操作に慣れた9月28日以降で施工効率を評価すると、平均15.2m²/hであった。なお、改良した研掃装置の作業人数は、装置本体の操作1名、作業補助1名、車両運転2名の計4名である。

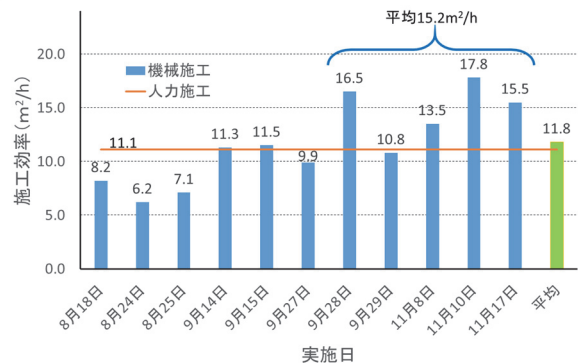


図-7 改良した研掃装置による施工効率

今回の施工では、改良した研掃装置の施工効率は、人力施工とほぼ同等となった。その要因として、作業時間が3時間と短かったため、準備、片付け等の占める割合が大きかったこと、下地の状態が良好で人力施工の負荷が小さかったことが考えられる。

また、改良前はリフトを下降させ、アウトリガを収納し、4トン車で移動していたため、移動に17分程度要し、施工効率は平均6.5m²/hであったが、改良後は図-8に示すように、荷台昇降車のローラージャッキにより、荷台昇降車を降下させずに次の施工場所へケレン機を移動させることが可能となったため、移動が4分程度になり施工効率が大幅に向上した。

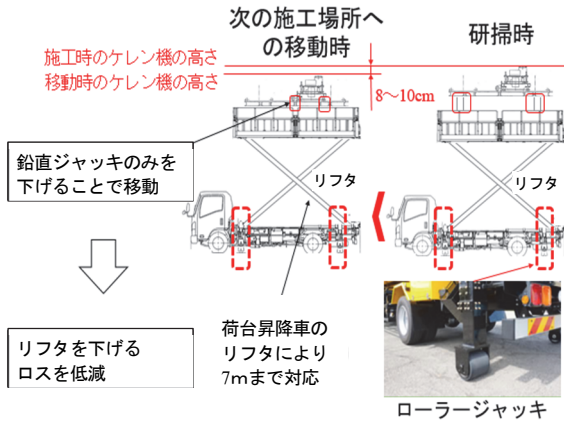


図-8 改良した研掃装置による施工効率

c. 仕上がり面の品質

人力施工と改良した研掃装置による汚れ除去後の仕上がり面を写真-12に示す。人力施工では、仕上がり面に黒い汚れが除去できていない部分が多くみられる。改良した研掃装置による仕上がり面は、人力の研掃よりも均一かつ確実に研掃できており、仕上がり面の品質向上に寄与できることが確認できた。

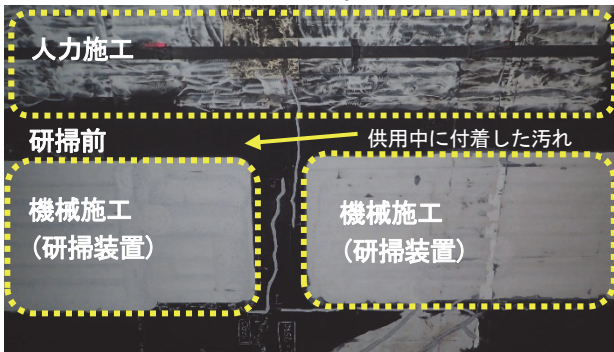


写真-12 改良した研掃装置と人力による研掃面

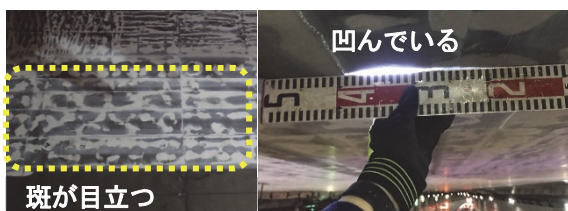


写真-13 仕上がり面に斑がある箇所

ただし、写真-13に示すように、仕上がりに斑のある箇所があった。コンクリート面が凹んでいるため、直径25cmのディスクでは研掃できなかったことが要因で、今後の課題と考える。

d. 粉塵等の吸引状況

交換しやすいようにブラシ枠の形状を矩形から円形に変更したため、粉じんの漏れが懸念されたが、漏れは視認できず、確実に粉塵が吸引されることを確認した。

e. 作業の安全性

地上で、ペンダントスイッチとタッチパネルの操作によりすべての作業が可能となったため、高所での作業はなくなり、安全性、作業環境が向上した。

4. まとめ

首都高速道路の道路トンネルに、改良した研掃装置を適用し、道路トンネル天井面の素地調整作業を実施した。

装置本体を小型化・軽量化し、昇降機構を独立した荷台昇降車に変更することで、天井面の高さが約7mの道路トンネルまで適用可能となっただけでなく、大幅な盛替え時間の短縮を可能とした。また、4本の鉛直ジャッキを採用することで縦断勾配だけでなく、横断勾配へも適応させたことにより、研掃面の品質も向上することが確認できた。これらの改良により、積載する台車や車両の変更が容易となり、水路など小断面の構造物などにも適用範囲を拡大できると考える。

一方、改良した研掃装置による施工効率は、人力施工とほぼ同程度であったが、仕上がり面の品質向上や作業環境の改善等が図られ、改良した研掃装置の適用の効果はあった。

5種類の研掃装置を開発し改良を重ねたように、今後も研掃装置を現場に適用させ、汎用性を高めながら、普及展開を図っていききたい。

【参考文献】

- 1) 石井敏之、「ウォータージェットを用いたコンクリート表面処理機の開発と現場適用」、平成26年度新技術・新工法に関する講習会、pp.35-38、2015.2
- 2) 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（一般社団法人日本建設業連合会）、pp.12-16、2016.2
- 3) 田中寛大、西山宏一、石井敏之、「曲面天井用研掃システムの開発」、令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会、VI-1130、2020.9
- 4) 丸山八大、津村匡洋、石井敏之、「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」、令和元年度建設施工と建設機械シンポジウム、pp.167-172、2019.12