

28. 壁の増厚などの補強工事に伴う

小径アンカー孔の削孔作業への自動削孔装置の適用

株式会社奥村組
株式会社奥村組
株式会社奥村組
株式会社奥村組
株式会社奥村組
株式会社奥村組

○ 川澄 悠馬
三澤 孝史
加藤 清孝
石井 敏之
山口 治
田島 鉄朗

1. はじめに

補強工事におけるあと施工せん断補強工法や壁等の増設工法では、「せん断補強筋」や既設と新設コンクリートの一体性を高める「あと施工アンカー筋」の挿入孔の削孔が行われる。挿入孔は通常、削岩機や電動ハンマードリル等を用いて人力で削孔され、数千本以上の孔数となる場合もあり、多大な労力を要する。そのため、作業の省力化や効率化が求められている。また、削孔時に発生する粉塵が作業場所に飛散することにより作業環境が悪化する場合もあり、改善も求められている。そこで、削孔作業の自動化および粉塵の飛散防止機構を備えた自動削孔装置を開発した^{1), 2)}。

自動削孔装置は、せん断補強筋を対象とする大径用（最大削孔径 $\phi 40\text{mm}$ 程度）とずれ止めアンカー筋を対象とする小径用（最大削孔径 $\phi 25\text{mm}$ 程度）の2種類である。これら2種類の自動削孔装置について、RC壁試験体を用いた性能確認実験を行い、人力施工と同等以上の削孔精度および粉塵飛散防止による作業環境の改善を確認した。

今回、下水道処理施設の放流渠における壁の増厚工法による補強工事において、ずれ止めアンカーの挿入孔の削孔作業に小径用の自動削孔装置を適用し³⁾、削孔精度と作業環境改善について確認した。本稿では小径用の自動削孔装置の概要および実施工における適用結果について述べる。

2. 自動削孔装置

2.1 自動削孔装置の構成

写真-1 に小径用の自動削孔装置（以下、自動削孔装置）を示す。本装置は予め設定した削孔計画（削孔数、削孔位置、削孔深さ）に従って自動で移動して連続削孔を行う。削孔機器には故障の際などに代替え機の調達などを素早く対応することができることから一般的な市販の電動ハンマードリルを用いている。

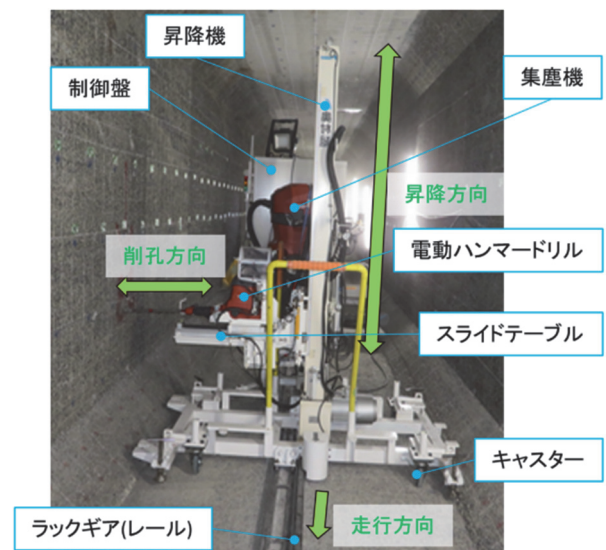


写真-1 自動削孔装置

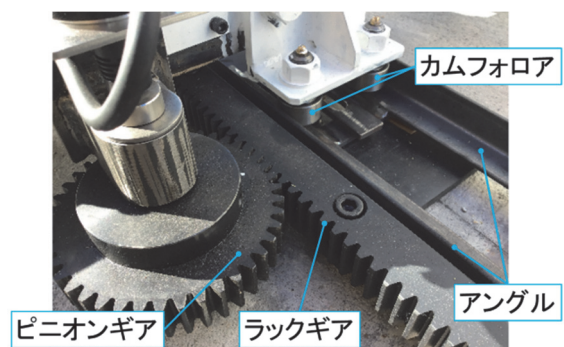


写真-2 レールと自動削孔装置

トンネル進行方向（走行方向）の移動は、写真-2 で示すようにラックギアとアングル 2 本から構成されるレールを床に固定し、装置本体に搭載した走行用モータ（ピニオンギア）を駆動源としてラックギアに沿って移動する。装置底部には、2 組のカムフォロアを装置の前後 2 か所に設け、レールを構成する 2 本のアングルをガイドとして走行す

る。走行量の計測には、ロータリエンコーダを用いている。レールは、構造物に残置させないように、撤去可能なスクリューアンカーにより床に固定した。

昇降方向はスライドテーブルに設置した電動ハンマードリルが電動モータで駆動する昇降機により移動する。削孔時には、スライドテーブルがレギュレータで調圧されたコンプレッサによる圧縮空気により削孔方向へ移動することで削孔する。昇降量および削孔方向への移動量は、レーザー距離計により計測する。

図-1 に示すように、削孔ビットには中空のホロードリルビット（ヒルティ社製）を使用し、削孔により発生する粉塵を先端の吸引穴から集塵機で吸引することで粉塵の飛散を防止する。

2.2 自動削孔装置の適用条件

現場適用の条件および装置の仕様を表-1 に示す。自動削孔装置の適用範囲は、内空幅 2,270mm 以上、高さ 2,647mm 以上の構造物である。また、走行方向に移動するために、施工延長に応じて長さ 1.5m のレールを敷設する。昇降方向のストロークは 1,500mm であり、削孔可能高さは地表から高さ約 735mm～2,235mm である。

2.3 自動削孔装置の動作フロー

自動削孔装置では削孔計画を基に自動で削孔を行う。自動削孔開始後は、図-2 に示す手順で削孔を行う。自動削孔開始後は、設定した削孔位置まで移動する。まず、削孔ビットを回転させずに壁に削孔ビットが当たるまで削孔方向へ電動ハンマードリルを搭載したスライドテーブルが移動することで壁と削孔ビット間の距離を自動計測する。これにより、削孔深さの精度向上を図っている。次に、削孔ビットを回転させ削孔を行い、次孔がある場合は、同様の手順で削孔を行う。

自動削孔中に、事前の鉄筋探査で把握できなかった鉄筋等に接触した際は、削孔速度の変化から自動でその削孔を中止し、次の孔を削孔するように制御している。これにより鉄筋の損傷を極力抑制することができる。

2.4 自動削孔装置の削孔計画

図-3 にタッチパネルの自動削孔画面を示す。削孔計画は、孔毎に昇降位置、走行位置、削孔深さを設定する。削孔計画は、自動削孔装置の制御盤のタッチパネルで作成するか PC で作成した Excel ファイルを無線（Wi-Fi）により制御盤に転送する。

図-4 に削孔計画の基準と座標の指定方法を示す。削孔計画は、施工開始位置からの相対距離を入力する。走行方向・昇降方向の 2 方向については、最初に自動削孔する位置を原点として座標を入力する。1 つの削孔計画が終了するまで同じ原点として座標値を指定する。削孔深さは、壁表面を基準と

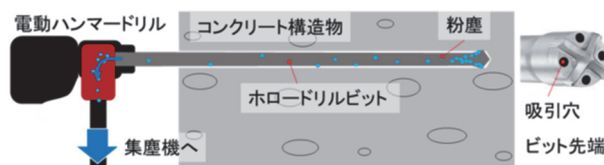


図-1 ホロードリルビットの集塵概念図

表-1 自動削孔装置の適用条件

区分	項目	制限値または施工範囲(mm)	備考
施工条件	幅	2,270 以上	削孔対象と障害物の間で作業する場合
	高さ	2,265 以上	天井のある場所で作業する場合
	奥行(施工延長)	-	現場施工計画による(レール設置が必要)
仕様	削孔深さ	0 ～ 300	スライドテーブルの稼働範囲
	高さ	735 ～ 2,235	昇降機の稼働範囲
	奥行(施工延長)	1,500×n	レール1.5m/本を施工延長に合わせて設置

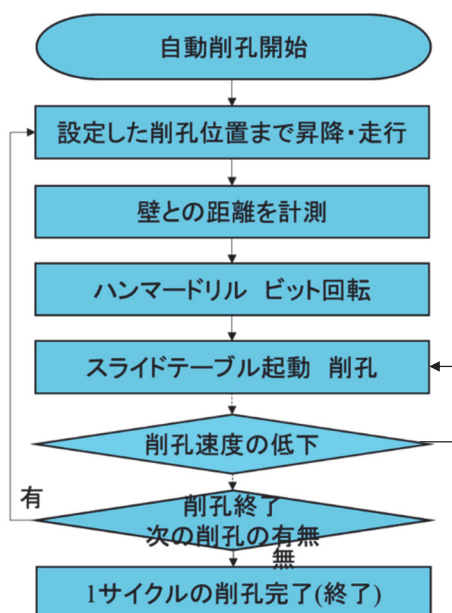


図-2 自動削孔の動作フロー

孔番号	昇降位置	削孔深さ	走行	状態
1	1200	160	0	未施工
2	800	160	500	未施工
3	400	160	1000	未施工
4	0	0	0	未施工
5	0	0	0	未施工
6	0	0	0	未施工
7	0	0	0	未施工
8	0	0	0	未施工
9	0	0	0	未施工
10	0	0	0	未施工
11	0	0	0	未施工
12	0	0	0	未施工
13	0	0	0	未施工
14	0	0	0	未施工
15	0	0	0	未施工
16	0	0	0	未施工
17	0	0	0	未施工
18	0	0	0	未施工
19	0	0	0	未施工
20	0	0	0	未施工
21	0	0	0	未施工
22	0	0	0	未施工
23	0	0	0	未施工
24	0	0	0	未施工
25	0	0	0	未施工

図-3 自動削孔画面

してそこからの削孔長を指定する。

施工日時，削孔長，昇降量，走行量，鉄筋接触の有無などの削孔結果は自動的に記録される。

3. 自動削孔装置の現場適用

3.1 適用現場の施工条件

自動削孔装置の適用対象は，図-5 に示す下水道処理施設の放流渠における，耐震補強工事の増厚工法に伴う，ずれ止めアンカー設置のための挿入孔の削孔作業である。内空幅 2.5m，内空高さ 3.0m の放流渠内で，延長 20m の両壁面に削孔径 $\phi 16\text{mm}$ と $\phi 25\text{mm}$ の削孔を各々計 198 孔行った。

自動削孔装置本体と機器台車を写真-3 に示す。現場適用前の自動削孔装置は，制御盤と装置本体が一体型であり，現場の内空に収まらなかった。そこで，制御盤と装置本体を分割することで小型化し，装置本体が分電盤や集塵機などの機器を搭載した機器台車をけん引する構造に改造した。

削孔深さは，事前実験での結果を考慮し，設定値を現場の設計値+10mm 程度とし，削孔径 $\phi 16\text{mm}$ が 115mm，削孔径 $\phi 25\text{mm}$ が 165mm で削孔計画を設定した。

写真-4 に施工面の状況と削孔間隔を示す。自動削孔装置を適用した放流渠内部はウォータージェットによる目荒らしを実施済みの壁面であり，粗骨材が露出している。

削孔計画における移動量は，昇降方向が 800mm，走行方向が 200mm を千鳥配置となるように設定した。走行方向の累積誤差を考慮し，1 サイクルあたり 10 孔（施工延長 1m 分）の削孔計画を 20 サイクル作成し，走行方向の基準位置をサイクル毎にリセットさせて適用した。

3.2 適用結果

写真-5 に放流渠内での自動削孔状況の適用状況を示す。隔壁が削孔径 $\phi 16\text{mm}$ で 198 孔，側壁が削孔径 $\phi 25\text{mm}$ で 198 孔を削孔した。施工時間は削孔径にかかわらず各壁を約 6 時間 30 分で施工完了した。この時の作業人員は，自動削孔装置の削孔計画の作成と周囲の安全確認で 1 名である。

鉄筋接触時には，削孔を中断して，次の削孔位置へ自動で移動しており，計画した制御通りに動作したことを確認した。

(1) 施工精度

削孔深さの施工精度を表-2 に示す。設定値に対し，ノギスにより計測した出来形（実測値）との差を確認した。削孔深さは設定値に対して絶対平均 3mm 程度であり，最小-8.3mm～最大 6.0mm の削孔深さとなった。削孔深さは，設定値よりも浅いものもいくつかあったが，事前の性能確認実験結果を考慮して，設定値に対し約 10mm 深い設定値とすることにより，設計値以下となるものはなかった。

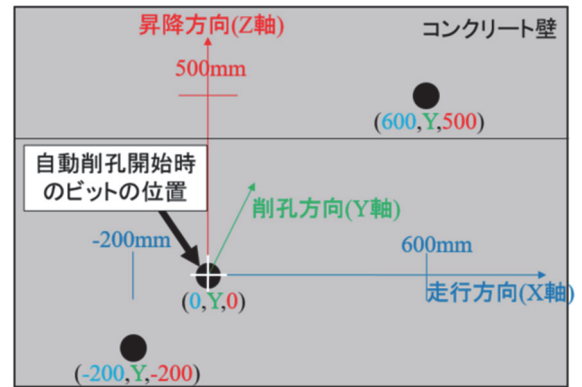


図-4 削孔計画の基準点と座標の指定方法

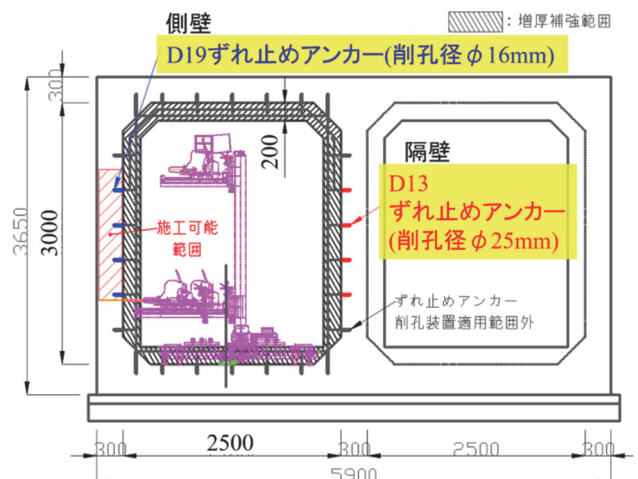


図-5 適用した放流渠の断面

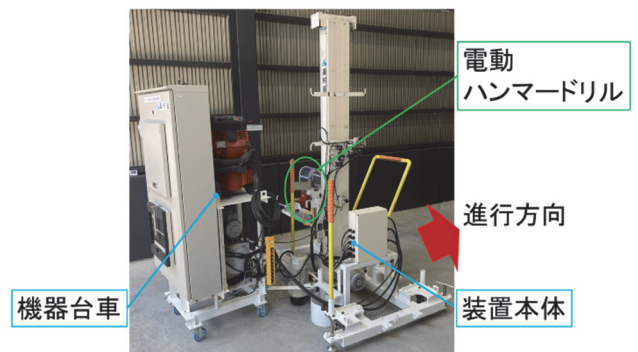


写真-3 装置本体と機器台車の配置状況

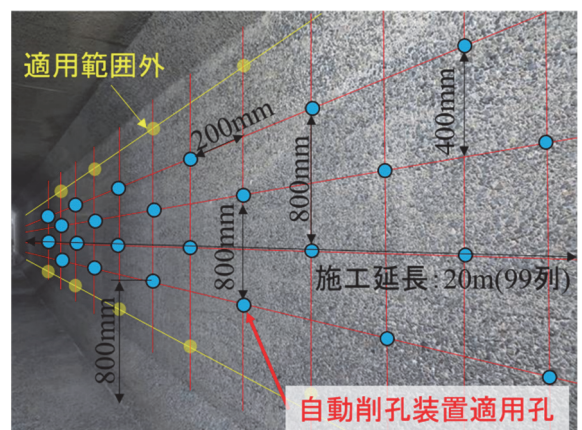


写真-4 適用壁面状況と適用箇所

表-3 に自動削孔装置の移動精度を示す。設定値に対し、トータルステーションにより計測した孔の位置から算出した昇降量および走行量との比較を行った。昇降方向は、削孔径 $\phi 16\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$ とも設定値に対して絶対平均 5mm 程度、走行方向は設定値に対して絶対平均 11mm 程度、削孔径 $\phi 25\text{mm}$ では 7mm 程度であった。削孔径が小さく剛性が比較的低い $\phi 16\text{mm}$ の走行方向の位置精度が削孔径 $\phi 25\text{mm}$ に比べ少し低かった。これは、ホロードリルビットが削孔時に壁に接触した際に、目荒らしによりコンクリート表面に露出した粗骨材でビット先端が滑る場合が見られ、誤差が比較的大きくなった一因と思われる。

(2) 施工効率と作業環境

自動削孔装置を用いた場合の平均削孔速度は、削孔径 $\phi 16\text{mm}$ が 5.2mm/s、 $\phi 25\text{mm}$ が 4.1mm/s であった。10 孔連続削孔における移動時間も含む削孔時間は、削孔径 $\phi 16\text{mm}$ が平均 8 分 53 秒、 $\phi 25\text{mm}$ が平均 12 分 8 秒であった。

施工効率は、人力施工による削孔の場合、トンネル全断面の平均で 175.5 本/人日、自動削孔装置による施工の場合、今回の適用孔数の平均で 198 本/台日となり約 13%の施工効率の向上がみられた。ただし、自動削孔装置では事前のレール敷設作業で今回は 20m を 2 人で半日程度要した。本適用では施工延長が 20m と比較的短かったが、適用距離および適用本数が増えれば、レール敷設作業を含めても本装置により効率的に施工を行えると考ええる。また、立ち馬上の削孔作業と比較した場合は、レール設置を含めても自動削孔装置の方が人力施工に比べ効率的であった。今後は、レールの敷設作業の効率化を図っていきたい。

作業環境については、自動削孔中はホロードリルビットおよび集塵機による吸引により、粉塵の飛散はみられず、作業環境の改善がみられた。

4. おわりに

下水道処理施設の放流渠の耐震補強工事におけるずれ止めアンカーの削孔作業に小径用自動削孔装置を適用し、以下を確認した。

- ・削孔作業の労力の低減
- ・人力施工と同等以上の施工効率
- ・削孔深さ、移動精度は所要の精度で施工可能

今後も、自動削孔装置の現場適用を積極的に行い、作業の省力化、効率化を図るべく、ブラッシュアップを行いたいと考える。

本装置の開発に当たっては、奥村機械製作株式会社に多大な協力を受けた。ここに改めて謝意を表します。



写真-5 自動削孔装置の自動削孔状況

表-2 自動削孔装置の削孔深さ精度

	単位	削孔径： $\phi 16\text{mm}$	削孔径： $\phi 25\text{mm}$
絶対平均	mm	2.5	3.1
最小値	mm	-8.3	-7.2
最大値	mm	6.0	2.1

表-3 自動削孔装置の移動精度

	単位	削孔径： $\phi 16\text{mm}$		削孔径： $\phi 25\text{mm}$	
		昇降	走行	昇降	走行
絶対平均	mm	4.4	11.4	5.1	6.9
最小値	mm	-9.0	-23.0	-8.0	-16.0
最大値	mm	19.0	32.0	17.0	24.0

参考文献

- 1)川澄悠馬，三澤孝史，西山宏一，有川健，山口治，石井敏之，栗本雅裕：小径のアンカー孔を対象とする自動削孔装置の開発，土木学会・土木建設技術発表会 2020, 2021.2
- 2)有川健，三澤孝史，西山宏一，石井敏之：既設コンクリート構造物のあと施工せん断補強に伴う削孔作業に適用する自動削孔装置の開発，令和 2 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，2021.12, pp.149-154
- 3)田島鉄朗，三澤孝史，加藤清孝，川澄 悠馬：小径のアンカー孔を対象とする自動削孔装置の実施工への適用，令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会，2022.9, VI-665