

# アンカー孔の自動削孔装置の開発

## －その 2 下水道施設補強工事への適用－

### Developing an Automated Drilling Hole Device for Anchors

#### - Part 2 : Application to Sewerage Facilities -

川澄悠馬\* 三澤孝史\*\* 山口 治\*\*\* 川口竜巨\*\*\*

#### 要 旨

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。削岩機や電動ハンマードリル等の人力で繰り返し行われる挿入孔の削孔では、作業の省力化や効率化、作業環境の改善が求められている。そこで今回、自動で削孔作業を行うアンカー自動削孔装置を 2 種類開発し、同一現場において適用した。その結果、省力化、ならびに作業環境の改善に繋がった。

キーワード：リニューアル工事、補強工事、削孔作業、省力化、自動化

#### 1. まえがき

既設コンクリート構造物の補強工事において行われる、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」の挿入孔の削孔が人力により行われる。削孔作業は通常、削岩機や電動ハンマードリル等を用いて行われるが、削孔本数が多く、繰り返しの振動作業になり、肉体的な負担が大きい。また、削孔作業で発生する粉塵により、作業環境が悪化し、健康面や作業性に悪影響を及ぼしており、これらの改善が求められている。そこで今回、削孔作業の自動化および粉塵の飛散防止機能を備えたアンカー自動削孔装置（以下、自動削孔装置）を 2 種類開発した<sup>1)~3)</sup>。1 つは、壁状のコンクリート構造物において、せん断補強筋を対象とする大径用自動削孔装置（最大削孔径  $\phi 40\text{mm}$  程度）ともう一つは、あと施工アンカー筋を対象とする小径用自動削孔装置（最大削孔径  $\phi 25\text{mm}$  程度）である。

これらの装置を下水道施設の耐震補強工事へ適用した。小径用自動削孔装置に関しては、今回で 2 回目の現場適用である。

#### 2. 自動削孔装置

##### 2.1 自動削孔装置の概要

自動削孔装置の外観を図-1、構成を表-1 に示す。2 種類の自動削孔装置は、削孔計画で指定する削孔位置、

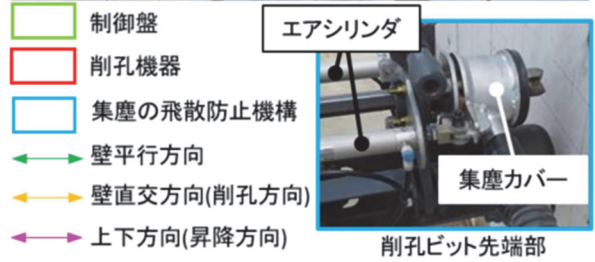
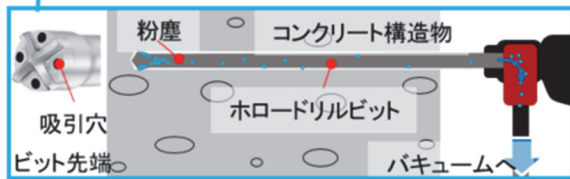
削孔深さ、削孔数に従って自動削孔する。削孔計画は装置の移動ごとに PC で作成して装置に伝送する。また、自動削孔後に自動生成される削孔結果（削孔時間、移動量、削孔深さなど）は制御盤内に保存され、PC へ無線で伝送することができる。自動削孔装置の削孔機器は、故障時の対応が容易な市販のものを用いており、小径用自動削孔装置では電動ハンマードリル、大径用自動削孔装置では空圧削岩機を用いている。自動削孔装置では、これらの削孔機器を削孔位置に自動で移動し、所定の深さまで削孔する。この作業を、計画した削孔数が完了するまで自動的に繰り返す。

##### 2.2 自動削孔装置の仕様

###### a. 小径用自動削孔装置

自動削孔装置の仕様を表-2 に示す。小径用自動削孔装置は、1 回目の現場適用<sup>4)</sup>の際に、内空幅が狭かったため、装置本体と制御盤の一体構造から制御盤等を分割し、機器台車に搭載して装置本体に連結した。外寸が壁平行方向  $1,918\text{mm}$ ×壁直交方向（削孔方向） $1,865\text{mm}$ ×上下方向（昇降方向） $2,626\text{mm}$  である。壁平行方向へ自動移動するためにラックギヤ付きの走行レールを敷設している。レール長は  $1.5\text{m}$  であり、施工延長に合わせて敷設する。レールが敷設できない場所では、手押しによるキャストでの移動が可能である。施工可能高さは設置位置（床面等）から  $750\text{mm}$ ～ $2,250\text{mm}$  程度、削孔深さは最大  $300\text{mm}$  まで適用可能である。また、粉塵の飛散防止機構は、ビット内部が空洞のホールドドリルビットと集塵機である。

\*技術本部技術研究所土木研究グループ \*\*技術本部技術研究所 \*\*\*東日本支社リニューアル工事部



(a) 小径用自動削孔装置

(b) 大径用自動削孔装置

図-1 自動削孔装置の外観

表-1 自動削孔装置の構成要素

|             | 小径用自動削孔装置                   | 大径用自動削孔装置                 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|
| 削孔機器        | 電動ハンマードリル                   | 空圧削岩機                     |
| 粉塵飛散防止機構    | ・ホロードリルビット (ヒルティ社製)<br>・集塵機 | ・集塵カバー、エアシリンダ<br>・集塵機     |
| 制御盤         | PLC                         | PLC                       |
| 壁平行方向       | 走行レール、電動モータ                 | ・走行レール、電動モータ<br>・スライドテーブル |
| 上下方向        | 昇降機                         | 昇降機                       |
| 壁直交方向(削孔方向) | スライドテーブル                    | フィード機構                    |

表-2 自動削孔装置の仕様

|        | 小径用自動削孔装置                                      | 大径用自動削孔装置                                   |
|--------|--|---|
| 最大削孔径  | φ 25mm程度                                       | φ 40mm程度                                    |
| 外寸     | W: 1,918 ×<br>D: 1,865 (ビットなし) ×<br>H: 2,626mm | W: 1,742 ×<br>D: 2,215 ×<br>H: 2,593mm      |
| 質量     | 690kg  | 980kg                                       |
| 移動可能範囲 | 壁平行方向  | ・スライドテーブル : 500mm<br>・走行レール : L = 1.5m × n本 |
|        | 上下方向(昇降方向)                                     | 1750mm ※(450~2,200mm)                       |
|        | 壁直交方向(削孔方向)                                    | 1,200mm                                     |

※設置位置(床面等)からの高さ

b. 大径用自動削孔装置

大径用自動削孔装置は、外寸が壁平行方向 1,742mm×壁直交方向 2,215mm×上下方向 2,593mm である。壁平行方向の移動は、小径用自動削孔装置と同様に敷設した長さ 3.0m の専用のレール上を走行する。また、装置本体に備えたスライドテーブルにより削岩機は壁平行方向に 500mm 移動できる。施工可能高さは、設置位置（床面等）から 450mm～2,200mm 程度である。削孔深さは最大 1,200mm まで適用可能である。小径用と比べて反力が大きいため、想定する削孔時の最大反力 3kN を確保するために、真空圧によりコンクリート表面に吸着するバキュームパッドを上部に 2 台装備している。パッドは 1 台当たり 2kN 以上を確保でき、必要に応じて使用する。一方、粉塵の飛散防止機構は、削孔箇所を覆う集塵カバーと同カバーを施工面へ押し付けるエアシリンダ、および集塵機で構成される。

2.3 自動削孔装置の動作フロー

事前準備として、自動削孔装置の削孔機器を任意の削孔開始位置に昇降・移動させ、その点を制御の原点とする。自動削孔を行うには、制御の原点ごとに、各削孔の原点位置からの 2 軸（壁平行方向、上下方向）の移動量、削孔深さを指定した削孔計画を自動削孔開始前に作成しておく必要がある。その後、自動削孔装置は削孔計画に従って、図-2 に示す手順で動作する。対象とするエリアの計画した削孔がすべて終了したら、自動削孔装置本体を次のエリアに移動させ、同じ手順で自動削孔させる。また、削孔速度が設定値以下となった場合は、鉄筋等の障害物に接触したものと自動判定し、削孔を中止して削孔計画の次の孔の削孔を行うように制御している。削孔を中止した孔については、計画した削孔の終了後に、目視により鉄筋接触状況を確認し、現場の管理基準に沿って、鉄筋に接触した孔の近傍に、自動削孔装置により再削孔を行う。

なお、大径用自動削孔装置において、バキュームパッドで反力を取る必要がある場合は、削孔エリアに移動した後バキュームパッドを壁表面へ吸着させ、自動削孔を開始する。

3. 適用現場の施工条件

自動削孔装置の適用対象は、図-3 に示す下水道処理施設の放流渠の耐震補強工事である。延長約 20m の壁面において、側壁の片面に、あと施工アンカー筋の挿入孔を、対面の側壁に、せん断補強筋の挿入孔を施工した。

自動削孔装置の放流渠内への搬入については、搬入口が装置の外形よりも小さいため、装置本体を小径用は 3 分割、大径用は 6 分割して施工場所へ搬入し、放流渠内部で組み立てた。

小径用は、あと施工アンカー筋（D16）の挿入孔とし

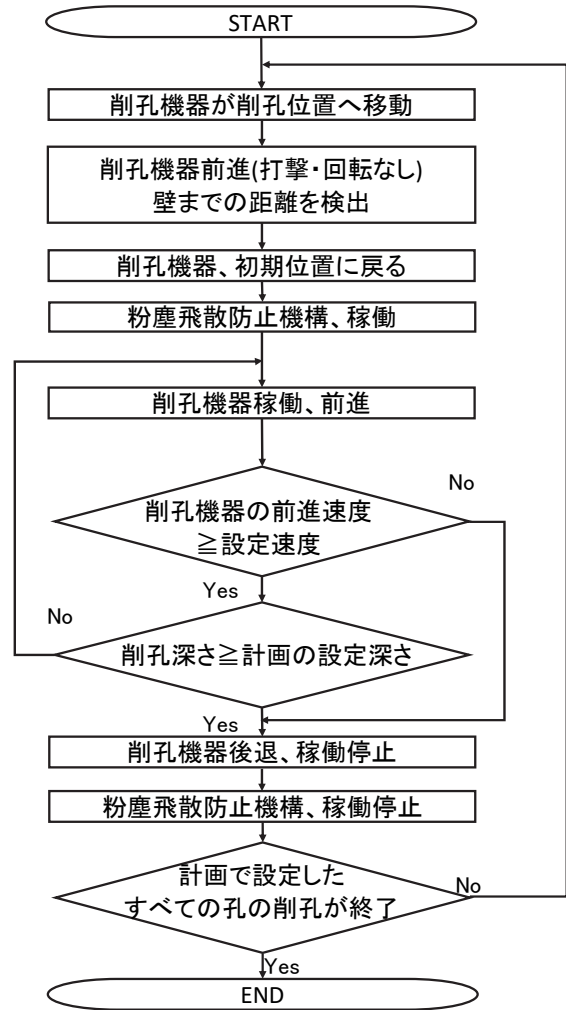


図-2 自動削孔の動作フロー

て削孔径φ20mm、設計削孔深さ112mm以上の削孔に、大径用は、あと施工せん断補強筋（D16）の挿入孔として削孔径φ34mm、設計削孔深さ662mm±9.5mmに適用した。小径用の削孔深さの設定値は現場管理値に合わせて128mmとし、大径用の設定値は削孔が深くなる傾向がみられたため、662mmから653mmへと段階的に2度調整しながら適用した。あと施工せん断補強筋および、あと施工アンカー筋用の削孔は、どちらも250mm間隔の千鳥配置であり、適用した削孔数は、小径用が約200孔、大径用が約170孔である。自動削孔装置を適用した放流渠内面は、あらかじめウォータージェットによる目荒らしを実施済みであり、粗骨材が露出していた。

装置本体を移動させるためのレールを写真-1に示す。走行レールは、各自動削孔装置で異なり、小径用は走行を補助するカムフロアとアングル、および装置の走行駆動力を伝えるラックギヤから構成され、アングルにラックギヤが取り付けられている。大径用は2本のアングルと、アングル間の離隔を所定の間隔にするための鋼

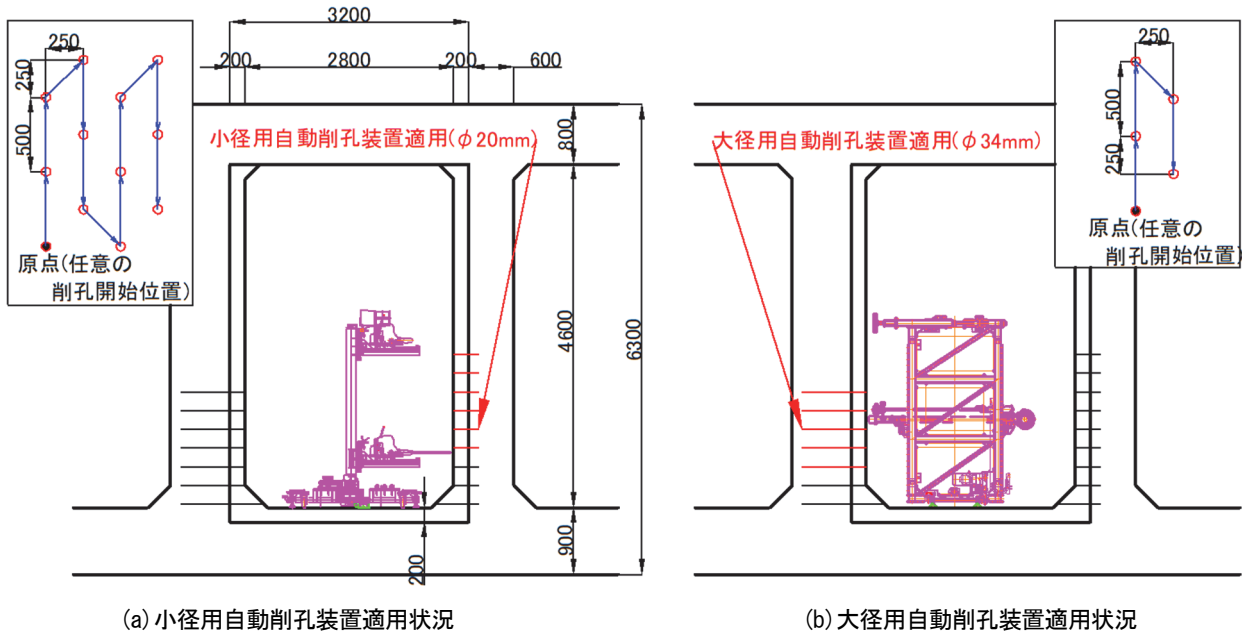


図-3 適用対象構造物

材で構成される。なお、レールの運搬、組み立て等の作業性を考慮し、アングル同士、およびアングルと離隔を確保する鋼材は、嵌合式の接続部材により容易に接合、取り外しができる構造としている。これらのレールは、自動削孔装置による施工後に、撤去可能なスクリューアンカーで床へ固定した。小径用では、長さ1.5m×14セットのレールを削孔位置に事前に設置して施工し、大径用では、長さ3m×3セットのレールを削孔位置に応じて移設して施工した。ただし、2種類の自動削孔装置の稼働エリアが重複していたため、小径用の施工が完了した後に、レールを撤去してから、大径用のレールを設置し施工を行った。

小径用では、装置に設置したギヤ付きエンコーダをレールのラックギヤに沿って走行させることにより、走行量を算出する。また、エンコーダの誤差の累積を考慮し、適用時には、小径用の場合は、高さ方向3孔×壁平行方向4列で削孔計画を作成し、削孔計画ごとの削孔数を12孔、累積移動量を1m以下とするように設定した。一方、大径用の場合は、削孔の際に本体は走行しないので、スライドテーブルの壁平行方向の最大移動量である500mmに収まるように、高さ方向2~3孔×壁平行方向2列で計画し、削孔計画ごとの削孔数を5孔、累積移動量を250mmとして設定した。

4. 適用結果

4.1 適用状況

自動削孔装置の現場適用状況を写真-2に示す。小径用、大径用自動削孔装置とも、計画した通りに自動削孔することができた。自動削孔中に、事前に把握できな

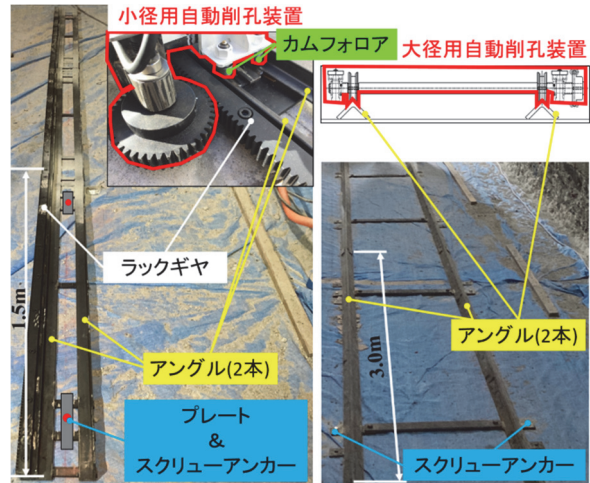


写真-1 自動削孔装置の走行レール

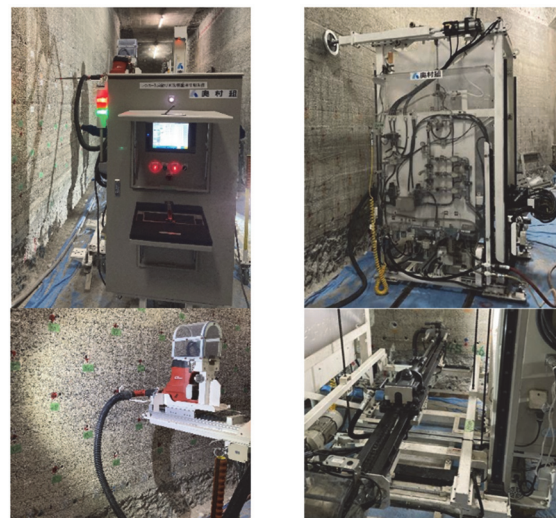


写真-2 自動削孔装置の現場適用状況

かった鉄筋と接触した場合は、削孔を中断して次の削孔位置へ自動で移動しており、鉄筋接触時の動作処理が適切に行われていることを確認できた。また、削孔で発生する粉塵については、ホロードリルビットおよび集塵カバーと集塵機による吸引により削孔中の粉塵の飛散がみられず、作業環境の改善が図られた。

大径用におけるバキュームパッドは、目荒らしした壁面で問題なく動作することを確認した。ただし、今回はバキュームパッドを適用しなくとも反力が得られることを確認できたため、使用せずに削孔を行った。

4.2 削孔深さ

表-3に、削孔深さの計測値を示す。削孔深さはスケールにより計測した。削孔深さの計測値の平均は小径用では128.6mmとなり、すべての孔で設計値112mm以上を満足した。小径用の計測値(平均)を見ると、ほぼ設定した削孔深さで削孔できていることがわかる。大径用では設定値653~662mmに対して、計測値の平均は668.5mmであった。大径用の計測値は、全体的に設定した削孔深さよりも深くなる傾向を示した。これは、深さを計測する距離計のキャリブレーションを、より精度良く調整することで改善できると考える。また、計測値の標準偏差は小さく、適切な設定値を、現場での計測値を基に設定することにより設計値内に収めることができた。

4.3 削孔位置

表-4に、削孔位置の設定値に対する計測値の差の絶対平均を示す。削孔位置をトータルステーションで計測し、自動削孔装置に入力した上下方向および壁平行方向の設定値に対する計測値の差を求めた。小径用の上下方向は、絶対平均10.3mm、壁平行方向は絶対平均11.9mm、大径用の上下方向は、絶対平均3.1mm、壁平行方向は絶対平均6.7mmであり、どちらの自動削孔装置も削孔ビット径未満であり、良好な位置精度であったと考える。誤差の発生要因の一つとしては、事前に削孔面に行った目荒らしにより、削孔ビットが滑る現象を確認しており、その影響があったと考える。特に、大径用に比べ小径で剛性が小さい削孔ビットを用いる小径用自動削孔装置では、比較的影響が大きかった可能性がある。

4.4 削孔速度

表-5に、自動削孔装置の削孔速度を示す。小径用では、削孔位置の移動を含まない1孔当たりの削孔時間が削孔深さ128mmの時、平均25.5sであり、平均削孔速度が5.1mm/sとなる。大径用では、削孔深さ662mmの時、平均166.4sかかり、平均の削孔速度は4.1mm/sであった。あと施工アンカー筋の挿入孔の削孔作業については、今回の現場と削孔径・削孔長が同じ電動ハンマードリルによる他現場における人力施工の場合の実績が180孔/人日<sup>3)</sup>であったのに対し、本適用での小径用による施工の場合では施工歩掛から247孔/台日となり、施工効率

表-3 削孔深さの計測値

|            | 小径用自動削孔装置 | 大径用自動削孔装置   |
|------------|-----------|-------------|
| 設計値        | 112mm以上   | 662mm±9.5mm |
| 設定値(現場管理値) | 128mm     | 653~662mm   |
| 計測値(平均)    | 128.6mm   | 668.5mm     |
| 標準偏差       | 1.9mm     | 2.4mm       |
| サンプル数      | 187孔      | 144孔        |

表-4 削孔位置の設定値に対する計測値の差

|             | 小径用自動削孔装置 |        | 大径用自動削孔装置 |       |
|-------------|-----------|--------|-----------|-------|
|             | 上下方向      | 壁平行方向  | 上下方向      | 壁平行方向 |
| 設計値         | 250mm     | 250mm  | 250mm     | 250mm |
| 設定値         | 250mm     | 250mm  | 250mm     | 250mm |
| 計測値の差(絶対平均) | 10.3mm    | 11.9mm | 3.1mm     | 6.7mm |
| サンプル数       | 138孔      | 138孔   | 77孔       | 81孔   |

表-5 自動削孔装置の削孔速度(壁直交方向の移動)

|     | 小径用自動削孔装置 |            | 大径用自動削孔装置 |            |
|-----|-----------|------------|-----------|------------|
|     | 削孔時間(s)   | 削孔速度(mm/s) | 削孔時間(s)   | 削孔速度(mm/s) |
| 平均値 | 25.5      | 5.1        | 166.4     | 4.1        |

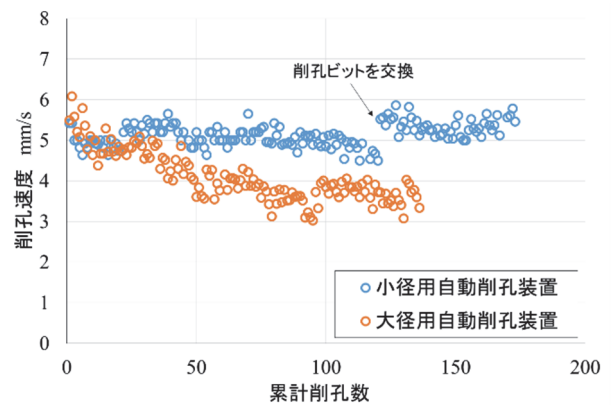


図-4 累積削孔数と削孔速度の関係

が向上した。あと施工せん断補強筋の挿入孔の削孔作業については、一般的な削岩機による人力施工の場合が最大で約50孔/台日に対し、大径用による施工の場合が施工歩掛から62孔/台日となり、大径用でも、あと施工せん断補強筋の挿入孔削孔作業の施工効率が向上した。

累積削孔数と削孔速度の関係を図-4に示す。自動削孔装置において、削孔本数が蓄積されることで削孔ビットの摩耗により削孔速度が低下し、削孔効率も低下する傾向がみられた。特に削孔長が長い大径用自動削孔装置

では、累計約 33m (50 孔程度) 削孔した段階で削孔速度が約 25%低下している。これは、対象構造物のコンクリートの性状などにより異なると思われるが、自動削孔装置における削孔ビットの最適な交換時期について、今後検討が必要である。

## 5. まとめ

削孔作業を自動で行う 2 種類の自動削孔装置 (小径用自動削孔装置、大径用自動削孔装置) を開発した。これらの装置を実施工に適用した主な結果を以下に示す。

- i. 鉄筋接触時に、削孔の速度低下を検知して自動で削孔を中断することを確認した
- ii. 小径用自動削孔装置の削孔深さ精度は設定値 128mm に対して計測値が平均 128.6mm、標準偏差 1.9mm であり、高い精度で削孔できた
- iii. 大径用自動削孔装置の削孔深さ精度は設定値 653mm ~ 662mm に対して、計測値が平均 668.5mm、標準偏差 2.4mm と設定値よりも深くなる傾向がみられたが、適切な設定値とすることにより設計値内に施工することができた
- iv. 移動精度は、どちらの自動削孔装置も設定値との差が絶対平均 10mm 程度であり、高い精度で移動できていることを確認した
- v. 小径用および大径用自動削孔装置の適用により、ともに人力施工に比べ、施工効率の向上が図られた
- vi. 削孔速度は、削孔本数が多くなるほど削孔ビットの摩耗により低下し、大径用自動削孔装置の場合、削孔延長が約 33m で約 25%の低下がみられた
- vii. 作業環境については、粉塵の飛散防止機構により、削孔中の粉塵の飛散がみられず、改善が図られた。今後も自動削孔装置の現場適用を積極的に行うとともに、さらなる作業の省力化、効率化を図るべく、ブラッシュアップをしていきたい。

## 【参考文献】

- 1) 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、pp.149-154、2020.12
- 2) 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
- 3) 三澤孝史、川澄悠馬、西山宏一、有川 健、山口治、石井敏之、「アンカー孔の自動削孔装置の開発」、奥村組技術研究年報 No.47、pp.67-72、2021.9
- 4) 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、VI-665、2022.9