

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

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

○ 有川 健
三澤 孝史
西山 宏一
石井 敏之

1. はじめに

既設コンクリート構造物の補強方法として、あと施工せん断補強工法^{1),2)}や壁等の増設工法等が用いられる。その際、せん断補強鉄筋や新設コンクリートとの一体性を高めるためのアンカー筋を既設コンクリートに挿入するための挿入孔の削孔は、通常、削岩機や電動ハンマードリル等を用いて人力で行われる。補強工事によっては削孔数が数千本以上と多大な労力を要する施工となるため、作業の省力化、効率化が求められていた。

今回、あと施工せん断補強工法における削孔作業の機械化・自動化に取り組み、せん断補強鉄筋の挿入孔を自動で削孔する装置（以下、自動削孔装置）を開発した。

開発した自動削孔装置は、壁状のコンクリート構造物を対象とした。削孔方法として空圧削岩機を使用し、セットした位置における削孔計画（削孔位置、削孔深さ、削孔数）に従って、削岩機を削孔位置に移動し、削孔深さまで削孔する。これを削孔数まで自動的に繰り返し、計画孔数の削孔が終われば装置を移動させ、次のエリアの削孔を行う。なお、削孔中に生じる粉塵は、集塵機と集塵カバーにより飛散を防止する。

また、自動削孔中に既設コンクリート中の鉄筋等に接触した場合は、削孔速度の変化により自動判定し、その削孔を中止し、次の孔を削孔するように制御しており、既存鉄筋への損傷を極力抑えることができる。

開発した自動削孔装置の性能を確認するため、RC壁試験体を使用した性能確認実験を実施し、所定の性能を有することを確認した。本稿では、自動削孔装置の概要を示した後、性能確認実験結果について述べる。



削岩機先端部

写真-1 自動削孔装置

2. 自動削孔装置

2.1 自動削孔装置の概要

自動削孔装置を写真-1に、主な仕様を表-1に示す。

自動削孔装置は、あと施工せん断補強工法のせ

ん断補強鉄筋の挿入孔（最大削孔径φ40mm程度）を対象とし、空圧削岩機を用いて自動削孔する装置である。削岩機を削孔方向に最大1,200mmフィードでき、上下方向の昇降ストローク1,750mmおよび左右方向のスライドストローク500mmのエリア内の移動が可能である。各移動量は、装備したレーザー距離計により計測管理する。自動削孔装置本体は、ペンダント操作によりレール上を走行させる。

可動範囲内を予め設定した削孔計画（削孔位置、削孔深さ、削孔数）に従って自動で削孔し、削孔位置、削孔深さ、削孔数、削孔時間等の施工結果データも自動的に記録する。なお、削孔計画および削孔結果は、パソコンと本装置の制御装置間を無線LANで伝送することができる。

また、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自動削孔装置上部に2基装備しており、必要に応じてバキュームパッドを使用することで削孔時の反力を確保することもできる。

削孔中に生じる粉塵は、削岩機の先端部に装備した集塵カバーをコンクリート表面にエアシリンダにより押付け、集塵機により吸引することにより飛散を防止する。

2.2 自動削孔時の動作フロー

図-1に自動削孔時の動作フロー図を示す。

自動削孔装置本体を削孔エリアに移動させ、自動削孔の事前準備として削孔エリア内の原点位置まで削岩機をスライド・昇降させた後、以下の手順により自動削孔するように制御している。そのエリアの削孔が終了したら、自動削孔装置本体を次の削孔エリアに移動させ、同じ手順で自動削孔させる。なお、バキュームパッドを使用する場合は、自動削孔前にバキュームパッドを壁表面に吸着させ、反力を確保する。

- ①削岩機を稼働させずに、壁にビットが当たるまで前進させることにより壁までの離隔を自動計測する。
- ②削岩機を前進させると共に、集塵カバーを壁面に押し付け、削孔を開始する。
- ③計画の削孔長までフィードする。
- ④削岩機を引き戻し次の削孔位置までスライド・昇降移動する。
- ⑤計画した全孔数の削孔が終了するまで、②～④を繰り返す。

なお、削孔速度が設定値以下となった場合、鉄筋等の障害物に接触したものと自動判定し、その孔の削孔を中止し、次の削孔位置に移動させる制御としている。

表-1 自動削孔装置の仕様

項目	仕様
最大寸法	横 1742×縦 2215×高さ 2593mm
質量	980kg
昇降範囲	1750mm
スライド範囲	500mm
走行速度	6.79m/min
昇降速度	2.88m/min（高速）
スライド速度	1.5m/min（高速）

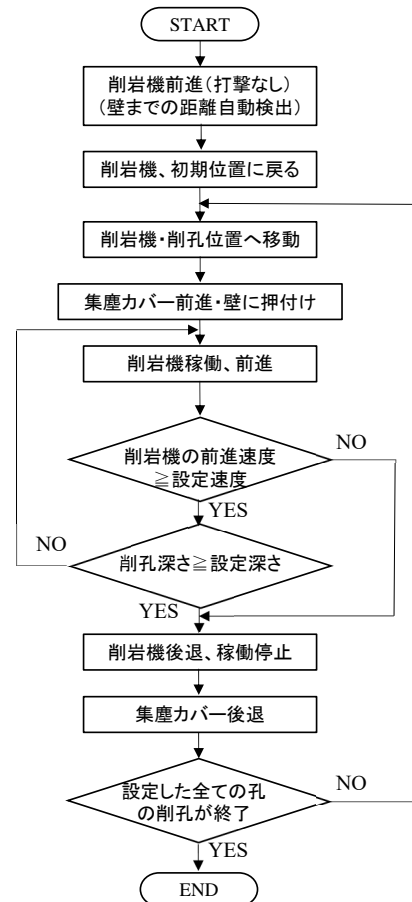


図-1 自動削孔時の動作フロー

3. バキュームパッドの吸着性能確認実験

必要に応じて削孔時の反力を確保するために、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自動削孔装置に装備している。この反力装置について、事前に、コンクリートブロックを用いた要素実験により、選定したバキュームパッド単体の吸着力を確認した。

3.1 吸着性能確認実験の概要

(1)バキュームパッド

選定したバキュームパッドは、TAIYO社製 TVP-R20Sである。外観を写真-2に示す。また、真空ポンプユニット(TAIYO社製 TVU-M06AN)は、真空圧-73.3kPaに達すると停止し、-64kPa以下になると起動するように設定されている。仕様を表-2に示す。



写真-2 バキュームパッド

表-2 バキュームパッドおよび真空ポンプユニットの仕様

バキュームパッド (型式: TVP-R20S)		
有効面積 (mm ²)	吊上荷重 (N) (安全率2)	備考
30,660	1130 (真空圧-73kPa)	パッドゴム材質: クロロブレンスポンジ
真空ポンプユニット (型式: TVU-M06AN)		
設定真空圧 (kPa)	理論ポンプ排気量 (L/min)	タンク容量 (L)
-64.0~-73.3	575/685 (50Hz/60Hz)	150

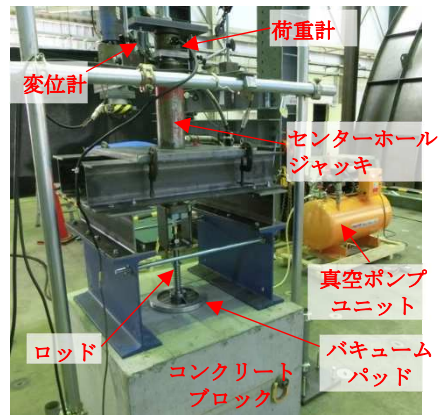


写真-3 実験状況

表-3 実験ケース

ケース No.	表面条件	
	1A	滑面
2A	粗面	0.24% ^{注1)}
3A	溝面	0.5-2.0mm ^{注2)}
3B		1.0-2.0mm
3C		3.0-2.0mm
3D		5.7-2.8mm

注1) 斜長比=斜長(凸凹長)/測定長

注2) 溝深さ mm-溝幅 mm

(2) 実験方法

実験は、写真-3 に示すように自己釣り合い方式で、バキュームパッドをセンターホールジャッキで引っ張ることによって最大吸着力を測定した。

実験手順は、バキュームパッドをコンクリート面に真空ポンプユニット(真空圧:-73kPa)で吸着させ、バキュームパッドと連結させたロッドをセンターホールジャッキで、バキュームパッドが剥離するまで載荷した。載荷方法はステップ載荷とし、1kNまでは0.5kNピッチ、それ以降は0.2kNピッチで行った。また、各ステップで、荷重を10秒間保持させた。

実際の既設コンクリート構造物では、コンクリート表面が、必ずしも健全な状態ではない場合も想定されるため、実験パラメータは、コンクリート表面の状態とした。コンクリート面の状態は、仕上げ面(滑面)、ジェットタガネで研掃した面(粗面)

および、ひび割れを想定してディスクサンダーにより溝1本を形成した面(溝面)の3種類とした。溝は、深さおよび幅もパラメータとした。計測は、引張り荷重(吸着力)とバキュームパッドの変位とし、サンプリング周波数10Hzで収録した。実験ケースを表-3に示す。実験は各ケースで2~3回実施した。

3.2 吸着性能確認実験の結果

実験時のバキュームパッドの設置状況を写真-4に、表面条件の粗面を写真-5、溝面(溝深さ5.7mm-溝幅2.8mm)を写真-6に示す。

最大吸着力の測定結果一覧を表-4に、バキュームパッドの荷重(吸着力)と変位の関係を図-2~図-4に示す。

滑面での最大吸着力は、2.79kNであり、製品の仕様である最大吊上荷重1.13kN×2(安全率)=2.26kNより大きな値を示した。粗面での最大吸着



写真-4 バキュームパッド設置状況



写真-5 粗面(ケース2A)



写真-6 溝面(ケース3D)

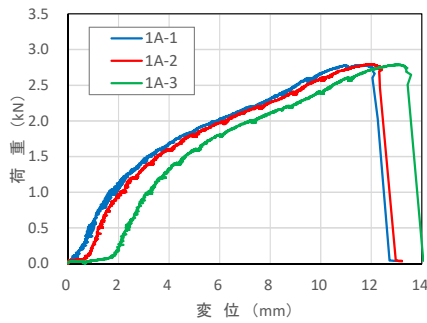


図-2 荷重-変位関係(ケース 1A)

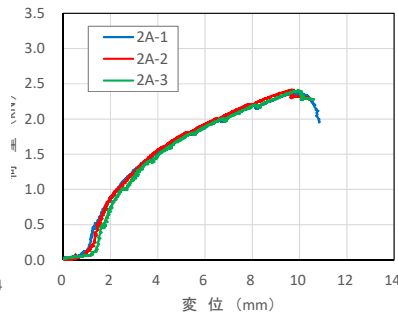


図-3 荷重-変位関係(ケース 2A)

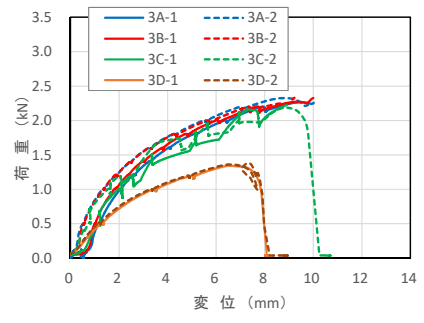


図-4 荷重-変位関係(ケース 3A~3D)

表-4 各ケースの最大吸着力

ケース No	表面条件		最大荷重 (kN)
1A	滑面	0.01%	2.79
2A	粗面	0.24%	2.39
3A	溝面	0.5-2.0mm	2.30
3B		1.0-2.0mm	2.33
3C		3.0-2.0mm	2.21
3D		5.7-2.8mm	1.36

力は 2.39kN と滑面の場合に比べ 14%低下した。溝面での最大吸着力は、同じく滑面の場合と比較して、溝深さ 1.0mm で 2.3kN となり 18%低下、溝深さ 3.0mm で 2.2kN となり 21%低下、溝深さ 5.7mm では 1.36kN となり 51%と大きく低下した。

溝深さ 3.0mm では、溝により安定した真空状態を維持できず、実験中に真空ポンプユニットの起動と停止が繰返され、他のケースと比べ荷重の変動が大きい。溝深さ 5.7mm では真空ポンプユニットが常時起動状態であった。

以上の実験結果より、最大吸着力は、今回の粗面や 3.0mm 以下の溝面で 2kN 以上が確保されており、バキュームパッドを2台使用することにより、想定する削孔反力(事前の実験より 3kN と想定)を担保できると考える。

4. 自動削孔装置の性能確認実験

4.1 実験概要

開発した自動削孔装置の性能を確認するために RC 壁試験体を用いた性能確認実験を行った。

(1) 実験方法

鋼製架台の上に 3 基の RC 壁試験体 (寸法: 縦 800×横 2000×高さ 2200mm) を設置し、レールとして敷設した山形鋼上に載せた自動削孔装置で削孔した。RC 壁試験体の設置状況を写真-7 に示す。RC 壁試験体の実験時のコンクリート圧縮強度は 27.6N/mm² であった。

RC 壁試験体の配筋図を図-5 に示す。自動削孔装置は、鉄筋等に接触時には、自動的に削孔を停止し、次の削孔位置を削孔するように制御している。



写真-7 RC 壁試験体設置状況

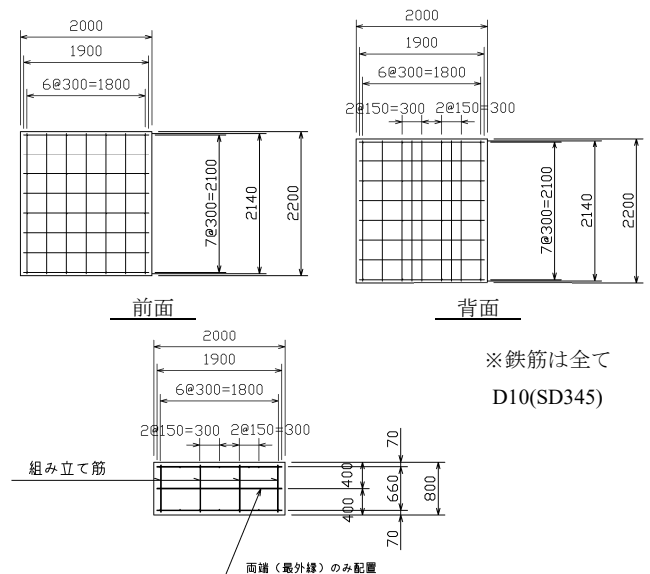


図-5 RC 壁試験体・配筋図 (単位: mm)

この機能を確認するために、試験体の前面と背面で配筋のピッチを変え、削孔時に背面側の鉄筋に接触した場合を模擬できるように図った。

(2) 実験ケース

実験はφ40mmのビットを用いて削孔した。実験パラメータは、削孔深さ、バキュームパッド使用の有無、単孔および連続削孔とした。また、鉄筋接触時に計画した通りに挙動するかを確認するために鉄筋に接触させるケースも行った。最終的には 100 孔以上の削孔を行った。削孔深さは 400~1000mm まで行った。なお、削孔深さを 1000mm とした場合は、奥行き (削孔方向) が 2000mm となる

ように RC 壁試験体の配置を変えて実験を行った。

4.2 実験結果

(1) 削孔径

実験状況を写真-8に示す。削孔中は、集塵カップおよび集塵機により粉塵の飛散は防止された。

削孔後、ノギスにより削孔径を計測した結果、削孔径の平均（孔数：109孔）はφ41.03mmであり、ビット径φ40mmより若干大きい程度である。また、バキュームパッド使用の有無による削孔径の差異はみられなかった。

(2) 削孔深さ

図-6に、設定削孔深さと削孔後にスケールにより計測した削孔深さの関係を示す。表-5に、設定削孔深さに対する計測値の差を示す。

全体の平均では、設定値に対し4mm深く削孔しているが、実施工において問題のない範囲と考える。バキュームパッド使用の有無による削孔深さに顕著な差異はない。

(3) 削孔速度および削孔時間

図-7に、設定削孔深さごとの削孔速度を示す。削孔深さが700mmまでは、全てのデータが5mm/s以上の削孔速度を示した。削孔深さが1000mmでは、若干、削孔速度が低下し、平均で4.3mm/sであった。これは、削孔深さが深くなることにより孔壁とビットとの摩擦抵抗が増加したために削孔速度が低下したと考えられる。

図-8に、8孔を連続削孔したケースの削孔順序を示す。横方向の孔間の間隔は200mm、上下方向は150mmとした。設定削孔深さは1000mmとし、このパターンの連続削孔を2回行った。削孔後の試験体を写真-9に示す。

各孔への移動も含めた計8孔の全削孔時間は、平均で約33分間であった。その内、各孔への移動時間の合計は平均で約1分間であり、削孔位置へ効率的に移動している。

(4) 鉄筋接触時の挙動

自動削孔時は、設定した削孔速度以下になると鉄筋等に接触したと自動判定し、その削孔を中止して次の孔を削孔するように制御ソフトを設定し

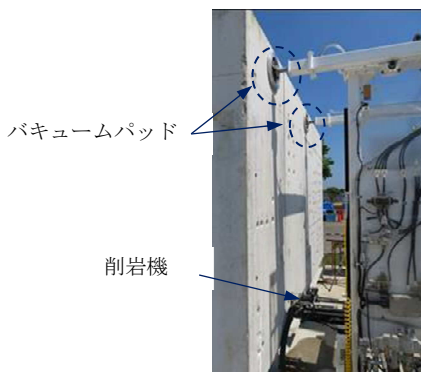


写真-8 実験状況（バキュームパッド使用時）

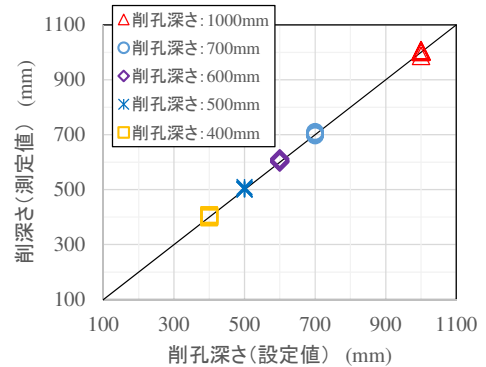


図-6 削孔深さの設定値と計測値の関係

表-5 削孔深さの設定値と測定値（出来形）の比較

削孔深さの設定値に対する測定値の差(平均値) (mm)	削孔深さの設定値に対する測定値の差(平均値) (mm)	
	バキュームパッド 使用あり	バキュームパッド 使用なし
全体	4	5

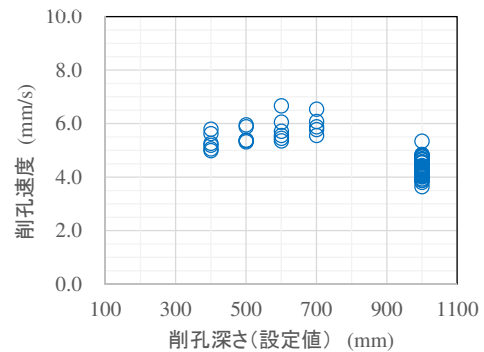
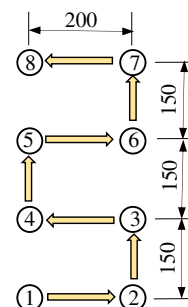


図-7 削孔速度と設定削孔深さの関係



※1→8の順番で削孔 単位：mm

図-8 連続削孔実験時の削孔順序

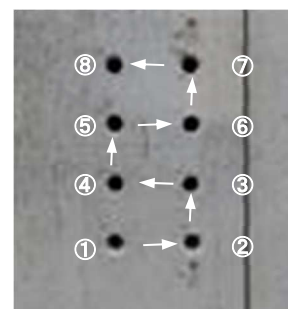


写真-9 連続削孔後の状況

ている。これを実際に確認するために、鉄筋に接触させる実験ケースを数ケース行った。一例として、手前側の鉄筋と奥側の鉄筋に接触させるように図った削孔パターンを図-9に示す。鉄筋中心位置は、壁表面から70mmと730mmである。設定削孔深さを750mmとして削孔した。

壁の奥側の鉄筋に接触する位置を削孔した孔内をCCDカメラで撮影した。写真-10に孔内状況を示す。鉄筋表面には少し傷が見られ、ビットが接触したことがわかる。

手前側および奥側の鉄筋に接触して削孔を自動で中止し、次の鉄筋に接触しない孔位置に移動し、設定深さまで削孔することを確認した。

今回の実験条件では、バキュームパッド使用の有無により、削孔径、削孔深さや削孔速度に大きな差異はみられなかった。従って、コンクリート強度等の施工条件が今回と同程度であれば、バキュームパッドを使用しなくても実施工において削孔可能であると考ええる。

5. おわりに

あと施工せん断補強工法における削孔作業の省力化、効率化を目的として機械化・自動化を図り、自動削孔装置を開発した。開発した自動削孔装置は、RC壁試験体を用いた性能確認実験により、所定の性能を有することを確認できた。今後、実適用を図るとともに、本装置のブラッシュアップを図っていきたいと考える。

本装置の開発に当たっては、奥村機械製作株式会社の山田純一氏、明智茂樹氏、大野 誠氏に多大な協力を受けた。ここに改めて謝意を表します。

参考文献

- 1) 山口治, 松本恵美, 三澤孝史, 廣中哲也: 六角ナット定着型せん断補強鉄筋を用いた後施工せん断補強工法の開発, 土木学会第71回年次学術講演会概要集, pp. 1017-1018, 2016. 9
- 2) 三澤孝史, 廣中哲也, 山口 治, 宇治公隆: 定着板を片側に配置したせん断補強鉄筋を用いる後施工せん断補強に関する研究, コンクリート工学会論文集, Vol. 29, pp. 111-123, 2018. 11

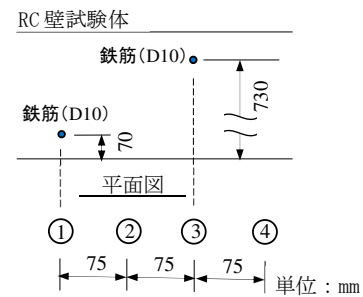


図-9 鉄筋接触時の削孔パターン

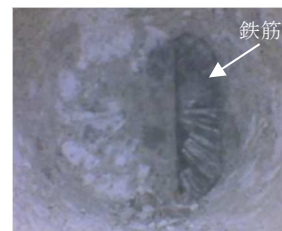


写真-10 孔内状況
(鉄筋接触位置を削孔)