

9. 機械式ビット交換技術の開発

大成建設株式会社
大成建設株式会社
日立造船株式会社

○田村 憲
志田 智之
吉川 健一

1. はじめに

近年、都市部での施行となるシールド工事では、地下構造物の輻輳、振動・騒音や交通渋滞の誘発により中間立坑の築造が困難であり、またその築造コストを削減するために掘削径を問わず長距離化する傾向にある。

一方、長距離化と併せて、大深度化により砂礫や軟岩等の硬質な地盤が掘削対象となり、カッタービットの摩耗量は増大している。これに対応するため、ビットの耐摩耗性、耐衝撃性を向上させる技術が開発されてはいるが、ビット無交換での施工には限界があり、掘進に伴い許容摩耗量を超えるカッタービットに対しては、交換が必要となる。

従来のビット交換には、地盤改良等により安定化した域内にシールド機を停止させた後に人が切羽に出て交換する方法や立坑を築造して交換する方法、シールド掘進機に特殊な装置を取り付け交換する方法等がある。前者は危険作業、工期の長期化、高コストといった問題があり、後者は機械設備が高額であるものや、小口径シールドに適用が困難なもの等がある。このような状況から、地上工事を必要とせず、補助工法の省略により経済的に、かつ安全に行える機械式ビット交換工法は、今後、益々需要が高まると考えられる。

本稿では、「大口径シールドはもとより中小口径シールドにも適用可能」で「地盤改良等の補助工法が不要」かつ「任意の場所で全ての先行ビットを無制限に交換可能」をコンセプトに開発した新しい機械式ビット交換技術について報告する。

2. 従来のビット交換工法との比較

従来の機械式ビット交換工法は、カッタースポーク内に人が入って交換する方法¹⁾や、カッターヘッド内部に機械式の交換装置を装備する方法²⁾等がある。

これらは、カッター自体が大きい大口径シールド機には容易に適用可能であるが、中小口径シールド機の場合は、形状寸法の制約から、全てのビッ

ト交換に適用することは難しいのが現状である。

一方、上記課題の解決を目指し開発した本工法は、シールド機隔壁（バルクヘッド）に設けた可動式マンホールをカッタースポーク背面に接続することで、シールド機内と連続したビット交換用の作業スペースを確保して、地山を先行掘削しティースビットの保護を担う「先行ビット」を全て交換可能としている。（図1参照）

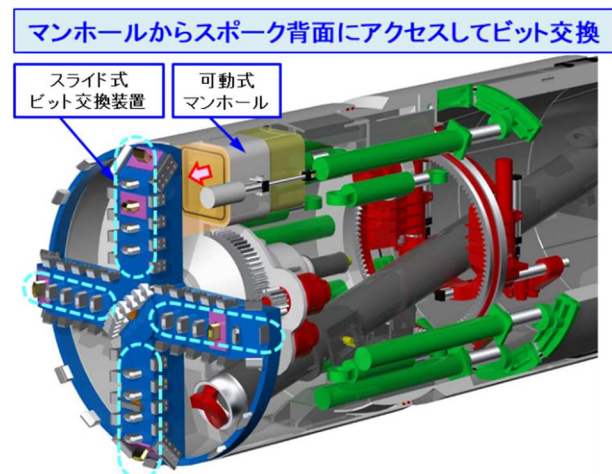


図1 機械式ビット交換工法の構成

ここで、可動式マンホールは、バルクヘッドにカッターモーターや排土装置（土圧式：スクリーコンベヤー 泥水式：送排泥管）に干渉しないように配置することが必要であり、ビット交換時の作業性からは、水平直径位置に配置することが望ましい。また、可動式マンホールとカッタースポーク背面との接続箇所は、機械的な凹凸の噛み合せ構造である印籠継手で構成し、カッタースポークにはシャッタースライド機構（図2参照）を装備することで、止水性を確保している。

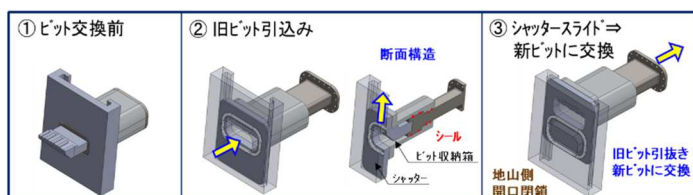


図2 シャッタースライド機構

本工法の特徴を以下に示す。

- (1) 任意の場所でビット交換可能
ビット交換を非開削で行うための地盤改良や、交換用の立坑の構築が不要となるため、地下構造物や沿道環境に左右されることなく、任意の位置でビット交換が可能。このため、予め位置を定めることなく、摩耗状況に応じてビット交換を行うことも可能になる。
- (2) 全ての先行ビットを繰り返し交換可能
外径4mを超えるシールド機では、可動式マンホールから手が届かない位置の先行ビットもあるが、後述するビット交換機械（カッタースポーク内を横行し先行ビットを交換する機械装置）を用いることで、全ての先行ビットを交換することが可能となる。
- (3) 小口径シールドへの適用が可能
外径3mを超えるシールド機であれば、シールド機駆動部と干渉せずに可動式マンホールを配置可能であり、小口径シールド機にも装備可能である。
- (4) カッタースポーク形状の変更不要
本工法はビット交換時にカッタースポーク内に人が立ち入る必要がないため、小口径シールド機の場合でも、スポーク形状寸法（幅、厚さ）を大幅に変更する必要がなく、掘削に影響のないカッター形状での装備が可能。
- (5) 交換時間の短縮
ビット交換のための準備作業は、可動式マンホールをカッタースポーク背面に接合し、それぞれのハッチを開放するのみである。このため、準備のためのシールド機の部品撤去・復旧や交換装置の取付け・取外し等に要する時間が不要となり、ビット交換期間の短縮に寄与する。

3. 実証試験

外径3mのシールド機のカッタースポークを模試した試験装置を製作し、可動式マンホールとカッタースポーク背面との接合部の止水性およびビット交換の効率を確認した。

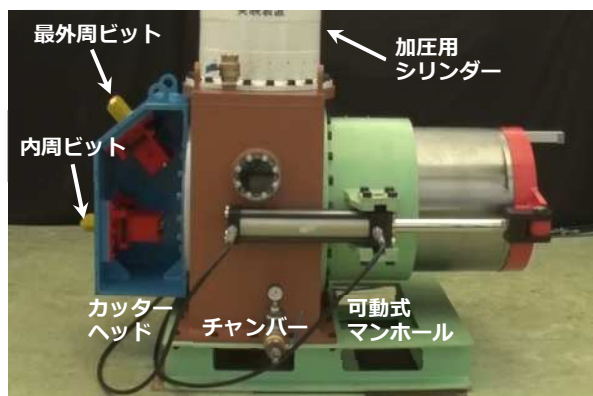


写真1 試験装置

試験装置は、カッタースポーク部、チャンバー部、可動式マンホール部からなり、チャンバー部には水を封入し、その上方に設けたシリンダーにより加圧できる構造とした。（写真1）

実証試験の手順を以下に示す。

- (1) 可動式マンホール押し出し（カッタースポークと接合）
チャンバー部を0.5MPaに加圧した後、可動式マンホールを押し出し、カッタースポーク背面と接合する。接合後、両者のハッチを取外し、加圧下においても止水性が確保できていることを確認した。（写真2~4）



写真2 接続前状況

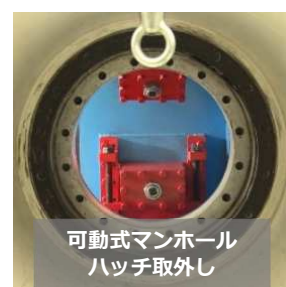


写真3 接続後状況

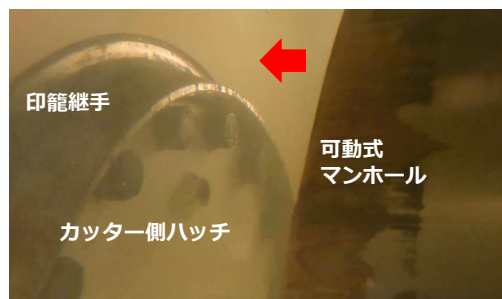
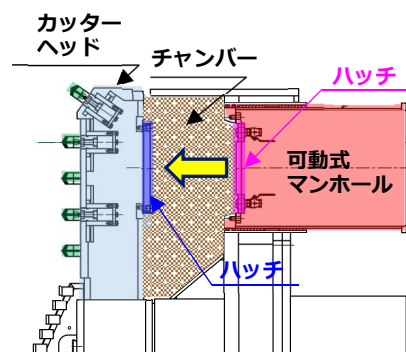


写真4 可動式マンホール接続中状況（水中）



(2) 内周側ビット交換

内周側のビット交換は、①旧ビットをビット収納箱に引込み(写真5) ②ビット収納箱を上側にスライドさせてビットを地山と分離(写真6) ③ビット収納箱の背面蓋を外し、旧ビットを機内に回収(写真7) ④ビットをビット部、台座部、収納背面蓋に分解(写真8)した後、ビット部を新品に交換し、回収と逆の手順で戻す(写真9)。ビット引込みから交換して押し出し完了まで、約6分であった。



写真5 旧ビット引込み

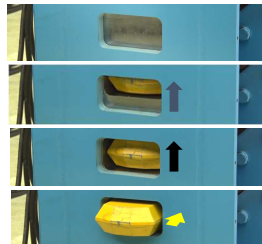


写真6 前方シャッター閉

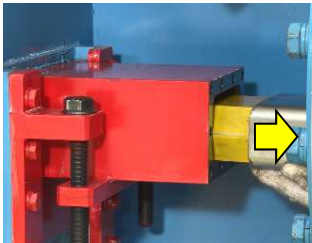


写真7 旧ビット機内回収



写真9 新ビット交換完了



写真8 ビット分解

(3) 最外周ビット交換

最外周ビットも内周側と同様の手順で交換するが、交換時のスペース確保のために、ビット引込み方向を斜め下方向とした(写真10)。交換時の滑落防止措置が必要となるため、一連の交換作業に約19分を要した(写真11)

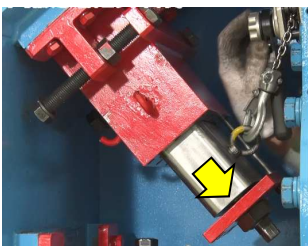


写真10 旧ビット引込み

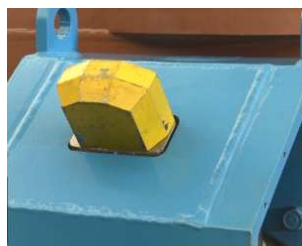


写真11 新ビット交換完了

実証試験により、以下の内容を確認することができた。

- ① 本工法によるビット交換作業は、外径3mの小口径シールド機においても適用可能であり、従来の機械式ビット交換工法と比較しても、短時間で交換が可能である。
- ② 地下50mを想定した加圧下においても止水性が確保でき、シールド機内から大気圧下での交換が可能である。

4. 実工事への適用

総合評価落札方式における技術提案において本工法を提案し、地方公共団体の下水道工事を受注した。

現在計画中のシールド機は、掘削外径φ5.56mの複合式(スクリーコンベアを装備した泥水式)シールド機で、可動式マンホールから手が届かない範囲にもビットが配置されることから、遠隔操作によりビットを交換可能とする機械装置を考案した。これにより、外径5mを超えるシールド機であっても、全ての先行ビットを交換することが可能となり、特に大口径シールドでは可動式マンホールを複数個所に配置することで、作業効率の向上が見込まれる。

考案したビット交換機械(以下、交換機械)のイメージ図を図3に示す。

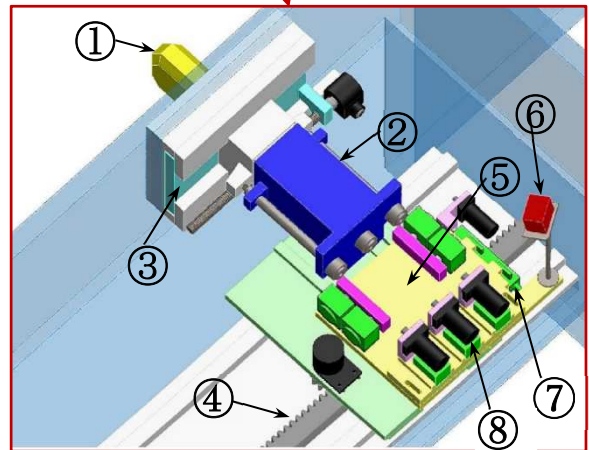
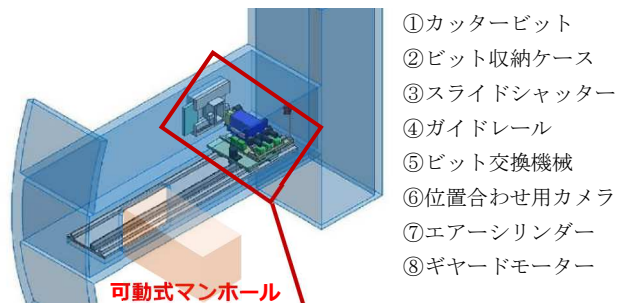


図3 ビット交換機械

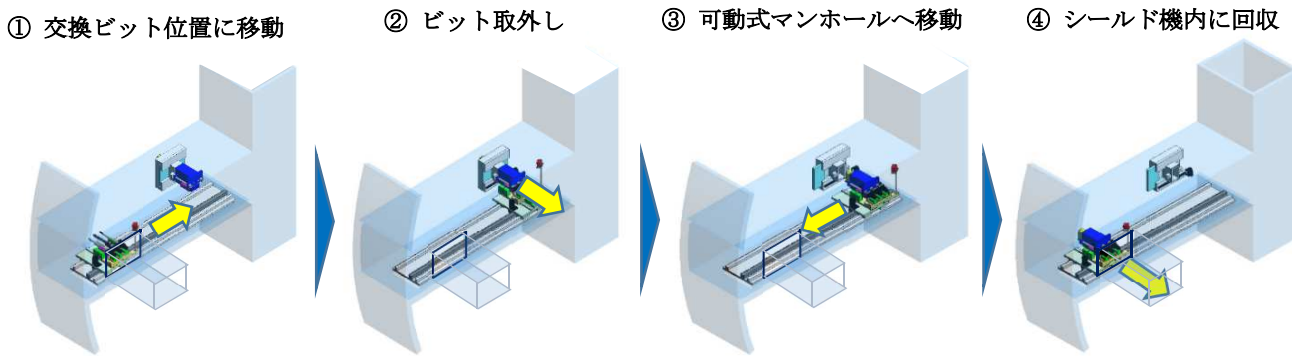


図4 カッタースポーク内での交換機械の動き

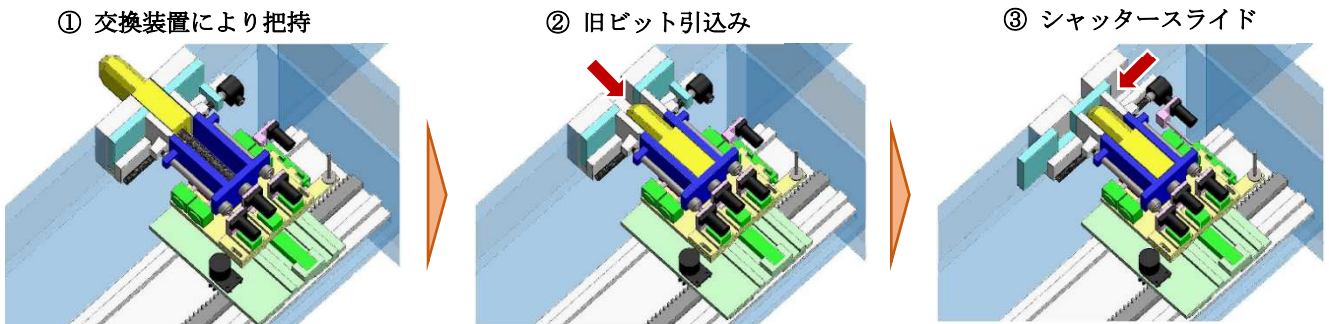


図5 交換機械によるビット取外し手順

可動式マンホールをシールド機の水平直径位置に1基装備し、カッタースポークが水平となる位置で交換を行う。カッタースポーク内には交換機械が横行するためのラック式ガイドレールを装備しておき、ビット交換時に交換機械を可動式マンホールより装着する。目視できない場所でビットの取外しを行うために、カッタースポークの所定位置に目印となる位置合わせ用のマーキングを施しておき、交換機械に装備したカメラで視準して位置合わせを行う。

ビット収納箱ごと交換機械で把持し、後方に移動することで、カッタースポークから先行ビットが分離される。

交換機械によりビット収納箱を可動式マンホール位置まで横移動することで、ビットを交換できる。(図4参照)

5. まとめ

本工法は、可動式マンホールをカッタースポークに接続して作業スペースを確保するため、小口径シールド機でもカッターヘッドの厚みや、カッタースポークの幅を極端に大きくする必要がなく、シールド機の掘削性能として重要な要素である掘削土のチャンバーへの円滑な移動を妨げることなく装備が可能である。

このため、安定した掘削性能と安全なビット交換機構を兼ね備えたシールド機を実現することが可能である。

また、中口径以上のシールド機においては、先行ビットの交換を遠隔で可能にする交換機械を開発し、これを利用することで、ビット交換作業の効率化をはかることもできる。

今後は実証試験により得られた知見を改善し、実施工にフィードバックしていくとともに、更なる作業の効率化と安全性の向上に努めていく所存である。

参考文献

- 1) 永森邦博, 真鍋 智, 小林孝志: シールド掘削機カタビット交換技術の適用実績と今後の展開, 土木建設技術シンポジウム論文集, pp. 125-130, 2003. 7
- 2) 杉山雅彦, 赤木朋宏: スライド式カタビット交換システム(トレール工法)の開発, 三菱重工技報, Vol. 36 No. 4, pp. 180-183, 1999. 7