

中小口径シールド機に適用可能な無制限ビット交換技術（THESEUS 工法）

大成建設(株) 正会員 ○志田 智之 正会員 田村 憲
地中空間開発(株) 吉川 健一 横山 琢磨

1. はじめに

近年、都市部での施工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。さらに、平成 13 年 4 月 1 日施行の『大深度地下の公共的使用に関する特別措置法』による深度 40m 以上の地下利用に関する規制緩和に伴い、大深度シールドトンネルの需要が高まっており、立坑築造における経済性・安全性などを考慮すると、長距離化の傾向は更に続くと考えられる。

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、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できないもの等がある。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「THESEUS 工法」(Taisei-Hitz Easy and Speedy bitExchange Unit Systems 以下、本工法)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は、カッタースポーク内に人が入り交換する方法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⁾等が取られてきた。これらは、カッター自体が大きい大口径シールド機には比較的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、全ての先行ビットの交換に適用することは困難である。

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する。これにより、地山を先行切削しティースビットの保護を担う「先行ビット」を全て交換することを可能としている(図-1)。

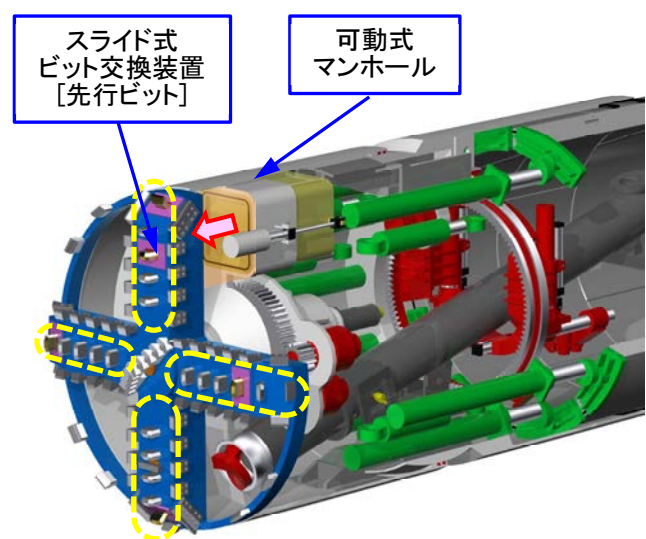


図-1 THESEUS 工法の構成

キーワード ビット交換、長距離シールド、THESEUS 工法

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1 丁目 2 5 番 1 号 大成建設株式会社 土木技術部 TEL 090-4925-2045

ここで、可動式マンホールは、バルクヘッドに設けられる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）と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、3時または9時の位置に配置することが適切である。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わ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。

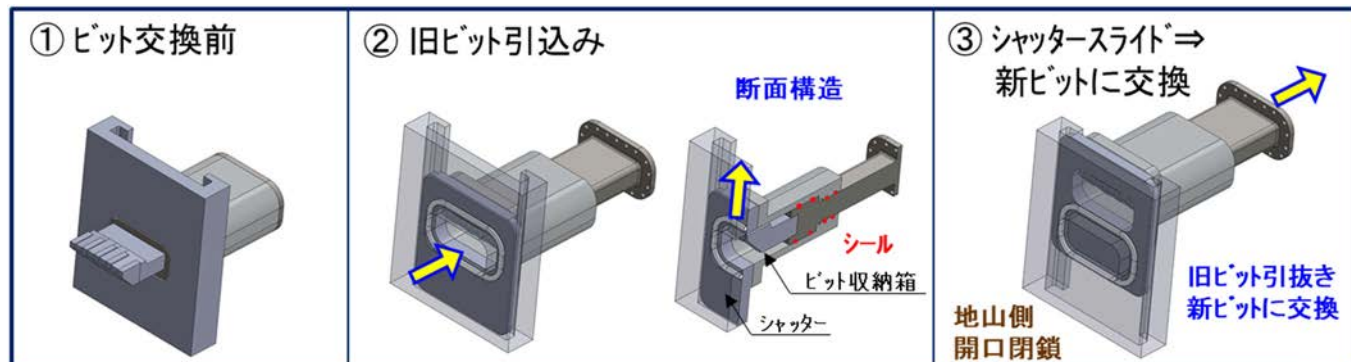


図-2 シャッタースライド機構

本工法の優れた特徴は、以下の通りである。

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、地下構造物や周辺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である。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

中口径シールド機では、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装置（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。また、簡便で耐久性が高い交換機構を採用することで、繰り返しビット交換を行うことも可能である。

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、本工法は小口径シールド機にも装備可能である。

④ カッタースポーク寸法の変更不要

本工法ではビット交換時にカッタースポーク内に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（幅および厚さ）を変更する必要がない。このため、ビット交換装置を装備することにより、掘削した土砂の流れを妨げることはない。

⑤ 地上に影響を与えない

ビット交換時には、予めチャンバー内を高粘性可塑状材に置換するとともに、先行ビットを引き込む際には発生する空隙を充填することで、切羽面に空洞を生じさせることなく交換できる。

⑥ 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取り外すのみである。このため、シールド機の部品撤去・復旧や交換装置の取付け・取外しに要する時間が不要となり、ビット交換期間の短縮が可能である。

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した試験装置（写真-1、図-3）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、ビット交換の所要時間を確認した。試験装置は、カッターヘッド部、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可能としている。

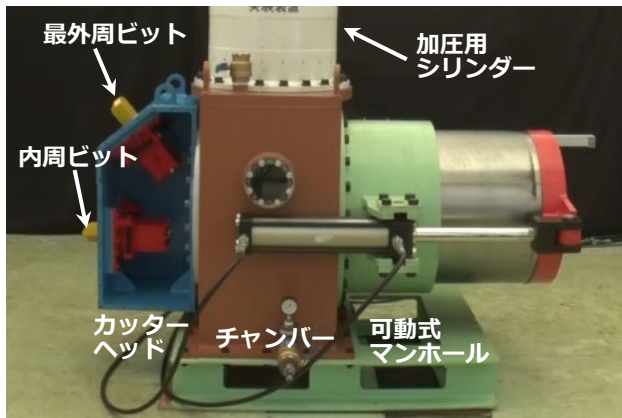


写真-1 試験装置

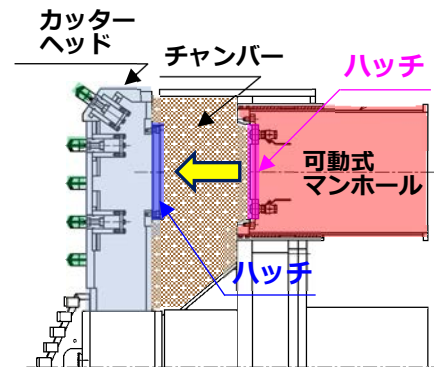


図-3 試験装置イメージ

実証実験は以下の手順で実施した。

（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（写真-2），可動式マンホールを押し出し（写真-3），カッタースポーク背面と接合する。接合後，両者のハッチを取り外し，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-4）。

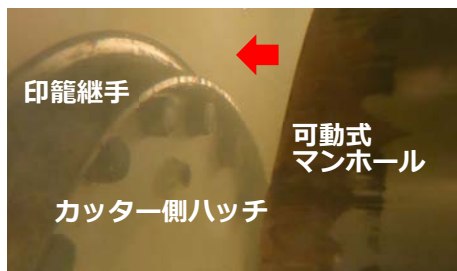
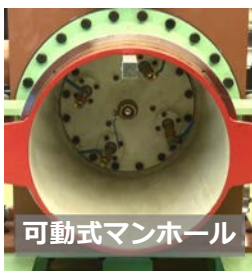


写真-2 可動式マンホール接続前状況 写真-3 可動式マンホール接続中状況（水中） 写真-4 可動式マンホール接続後状況

（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、収納箱背面蓋に分解（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した（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。

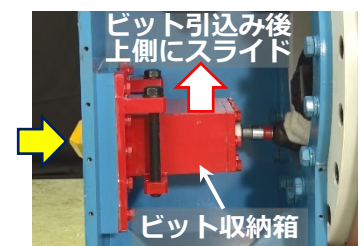


写真-5 旧ビット収納箱引込み

（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にした（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）。従来工法と比較して、交換時間を大幅に短縮できることを確認した。



写真-6 前方シャッター閉

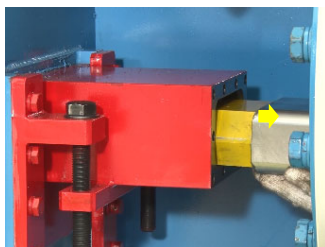


写真-7 旧ビット機内へ回収



写真-8 ビット分解



写真-9 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、直径 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。



写真-10 旧ビット引込み

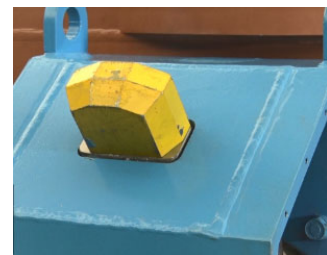


写真-11 新ビット交換完了

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 D=5.56m の複合式(スクリーコンベヤーを装備した泥水式)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交換を可能とする装置を考案した。これにより、中口径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箇所配置することで、作業効率の向上が見込まれる。

考案したビット交換装置（以下、交換装置）のイメージ図を図-4 に示す。シールド機の切羽に向かって9時の位置に可動式マンホールを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。シールド機製作時に、カッタースポーク内を横行するためのガイドレールをカッタースポーク内に取り付けておき、ビット交換時に交換装置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、交換装置に装備したカメラで視準して位置合わせを行う。ビット収納ケースごと交換装置で把持して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。交換装置によりビット収納ケースを可動式マンホール位置まで横移動することで、ビットが回収される（図-5、6）。

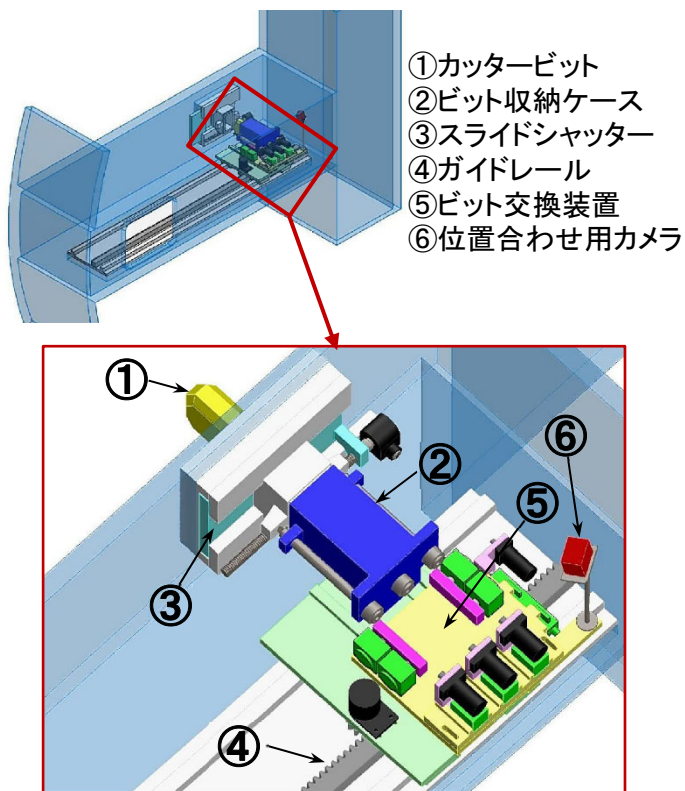


図-4 ビット交換装置

- ① 交換ビット位置に移動 ② ビット取り外し ③ 可動式マンホールへ移動 ④ シールド機内に回収

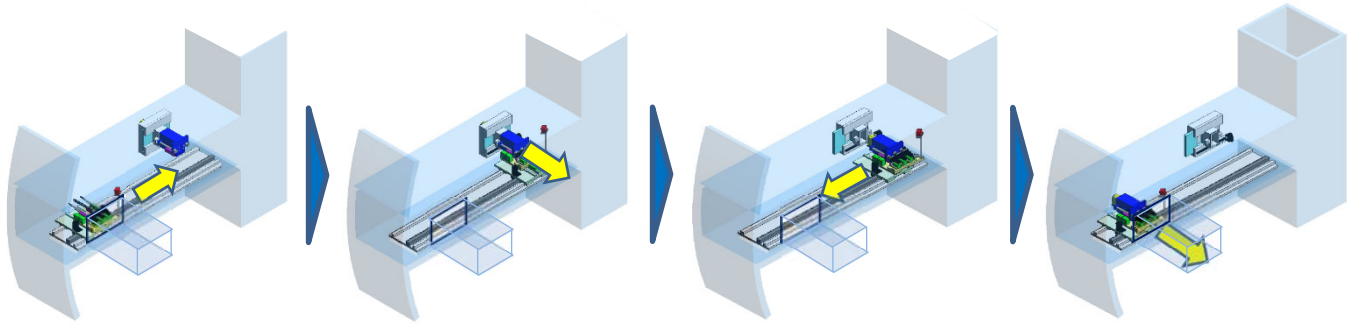


図-5 カッタースポーク内での交換装置の動き

- ① 交換装置により把持 ② 旧ビット引込み ③ シャッタースライド

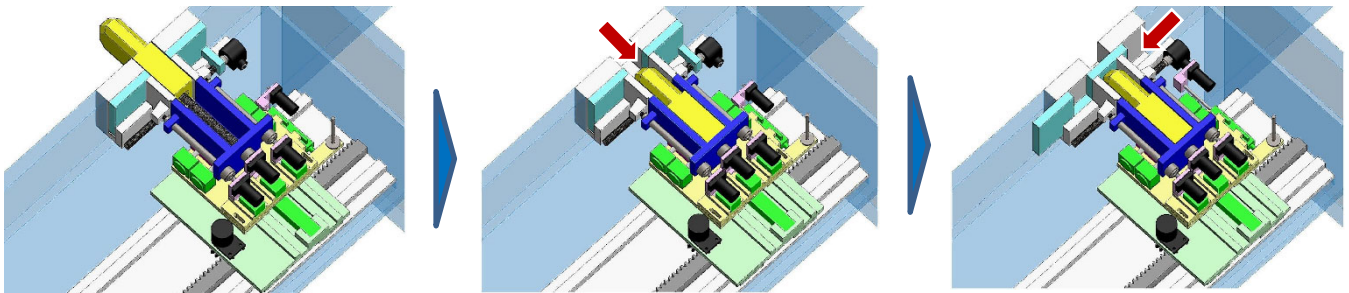


図-6 交換装置によるビット取外し手順

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さや幅を極端に大きくする必要がなく、チャンバー内へ掘削土が円滑に移動する。これにより、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となる。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装置を開発し、可動式マンホールから手が届かない位置のビットも交換可能にするとともに、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: シールド掘削機カッター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: スライド式カッター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
- 3) 田村 憲, 志田智之, 横山琢磨, 吉川健一: 機械式ビット交換システム「THESEUS 工法」の開発, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-92, 2021.9
- 4) 田村 憲, 志田智之, 横山琢磨, 吉川健一: 機械式ビット交換システムの開発, 令和 3 年度 建設施工と建設機械シンポジウム, 2021.12 (投稿中)