

シールドマシンのローラーカッター 交換システムの開発

田 村 憲・志 田 智 之

外径3m以上のシールド機に搭載可能な機械式ビット交換工法「THESEUS工法[®]」(以下、本工法)を2021年に開発した。本工法は、バルクヘッド(隔壁)に設けた伸縮する可動式マンホールをシールド機内側からカッタースポーク背面に接続して、カッタースポーク内部と機内を連続した空間にして、大気圧下でビット交換ができる。2022年には人力に代わり、カッタースポーク内の空間を自走しビット交換作業をする遠隔操作ロボットを開発した。今回はこの工法を拡張し、岩盤や巨礫を含む地層を掘削する際に使用する「ローラーカッター」の交換システムを開発した。

本稿ではローラーカッター交換システムの開発コンセプト及び実証実験について報告する。

キーワード：ローラーカッター交換，ロボット，遠隔操作，自動化

1. はじめに

本工法は、シールド機のバルクヘッドに設けた可動式マンホールをカッターヘッド背面に接続しシールド機内とカッター内部を連続した空間にすることで、切羽に出ることなくビット交換を可能としている。また、専用ロボットを遠隔操作し交換することで、通常のシールド機と同等のカッターヘッド形状寸法を実現している。

一方、岩盤や巨礫を含む地層を掘進する場合、シールド機のカッターヘッドにはローラーカッターを装備するが、長距離掘進等で摩耗・損傷した場合は交換が必要となる。掘削対象が硬質岩盤で切羽の安定が確保される場合は、シールド機外に人が出て交換できるが、巨礫を含む砂礫地盤では別途、切羽崩壊を防止するための地盤改良等が必要となり、工費増大、工期延伸の要因となっている。

そこで、土砂掘削用ビットの機械式交換工法として開発した本工法を基にローラーカッター交換機構を新たに開発した。本報では開発コンセプトと基本構造および基本性能確認のために実施した実証実験について報告する。

2. 開発コンセプト

機械式ローラーカッター交換システムの開発に当たっては、従来型のローラーカッター交換方法の課題

を解決するため以下の条件を満足するものとして図-1に示す基本構造を考案した。

- (1) 地盤に含まれる粘土分が固結しローラーカッターの回転が拘束されて偏摩耗の要因とならないように、カッターヘッド前面から背面までの貫通孔を確保する(図-2)。
- (2) カッターヘッドの厚さ、幅が大きくならないように、内部に人が立ち入ることなく交換可能な機構

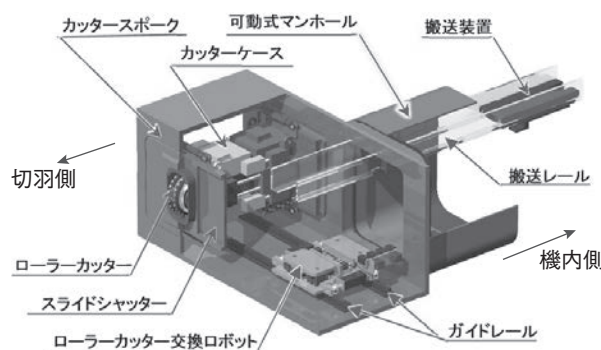


図-1 貫通孔イメージ

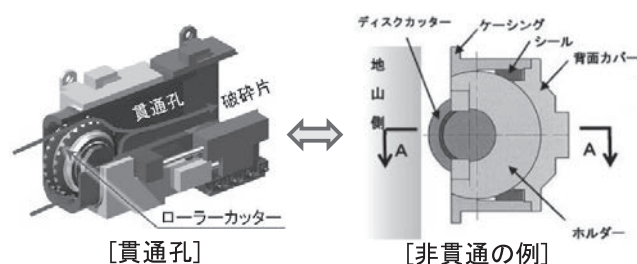


図-2 ローラーカッター交換システム基本構造

を採用する。

- (3) ローラーカッターは重量物で、かつ狭隘な場所で行き扱ふ必要があるため、人力による作業を回避しロボットによる遠隔操作を実現する。

3. 基本構造

ローラーカッター交換システムの主要構成品を図-3に示す。本システムは、①インナーケース（ローラーカッターを固定し、掘進時は地山側に押し出し、交換時にはスポーク内に引き込む）とアウターケース（インナーケースをカッタースポーク内に固定する）から

成るローラーカッターケース（以下、ケース）、②ローラーカッター交換時のみカッタースポーク内に搬入し、遠隔操作によって交換作業をするローラーカッター交換ロボット（以下、ロボット）、③交換時にカッタースポーク内に土砂や地下水が流入しないよう地山と縁を切るためのスライドシャッター（以下、シャッター）から構成され、以下の手順でローラーカッターを交換する（図-4参照）。

- (1) 可動式マンホールをカッターヘッド背面に接続し、ロボットをカッターヘッド内部に搬入(1～2)
- (2) ロボットが交換対象のケース位置まで移動した後、把持ピンでケースを支持(3)

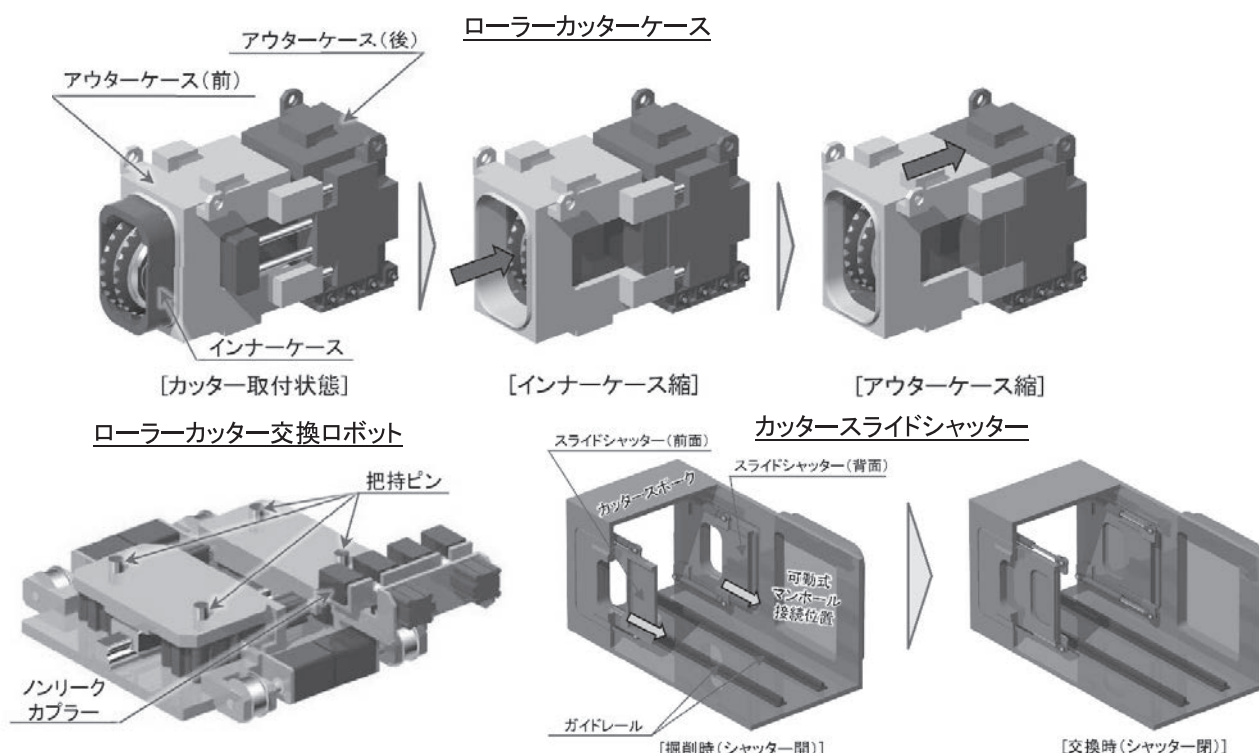


図-3 ローラーカッター交換システム主要構成品

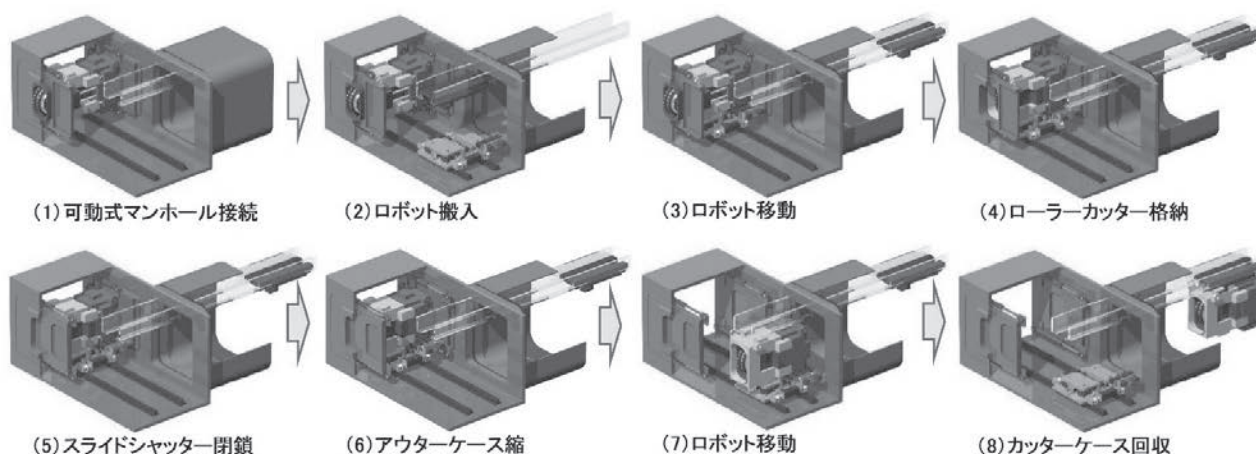


図-4 ローラーカッター交換手順

- (3) ロボット側からケース側に内圧を保持した状態で油圧ラインの接続・切離しができるノンリークカップラーを接続し、ローラーカッターをケース内に格納 (4)
- (4) カッター前背面のシャッターを閉鎖後、アウターケースを締めカッターヘッドからケースを分離 (5～6)
- (5) ロボットによりケースを可動式マンホール前まで移動し、搬送装置でシールド機内に回収 (7～8)

新しいローラーカッターへの交換は、(1)～(5)を逆の手順で行う。また、複数のローラーカッターを交換する際は、可動式マンホール側から順次撤去し、遠い側から再設置する。

4. 実証実験

実験装置は、14インチのローラーカッターを備えたカッタースポーク部を模擬したもので、可動式マンホールをカッター背面に接続した状態となっている (写真—1)。

ローラーカッターを内包したケース (写真—2) は約 800 kg で、取り扱い質量が大きいため、各操作による応答性がよい (即応性が高い) 油圧によって作動するものとした。

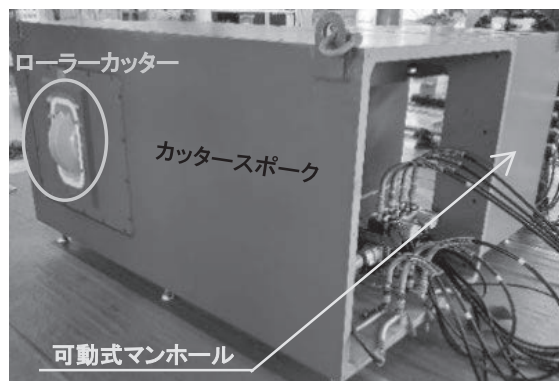
本装置では、ロボット (写真—3) に装備したノンリークカップラーにより交換時のみ油圧ラインを接続するため、カッタースポーク内に交換装置用の油圧ホースを配置する必要がなく、掘進時の衝撃による油圧ホース破損等のトラブル回避に寄与している。ロボットは、コントローラーにあるモニター映像を確認しながら遠隔で操作し、位置合わせを行う (写真—4)。

以下にローラーカッター回収時の実証実験の一連の状況写真を示す (写真—5)。

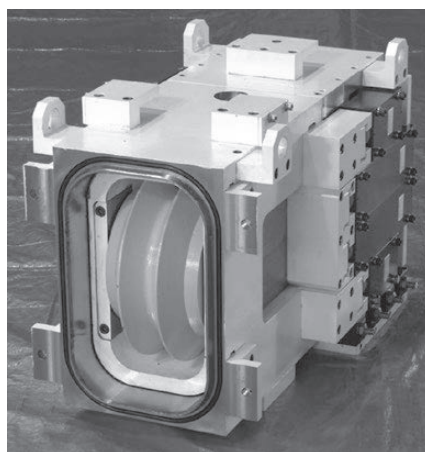
5. 実証実験結果

実証実験は、カッターケースの回収・取付けを複数回繰り返し行ったが、シャッター、ケースおよびロボットの可動部の作動状況は円滑で、ノンリークカップラー部の油漏れも認められなかった。

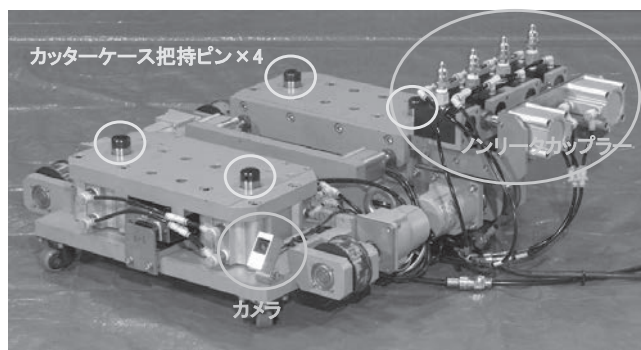
交換時間は回収・取付け作業ともに約 5 分であった。最後に、カッターケースの気密性を確認するために、シャッター前面・背面に蓋をして耐圧試験を行った。圧力 0.5 MPa のエアを封入し 30 分間静置後、圧力の低下がないことを確認した (写真—6)。



写真—1 実験装置全景



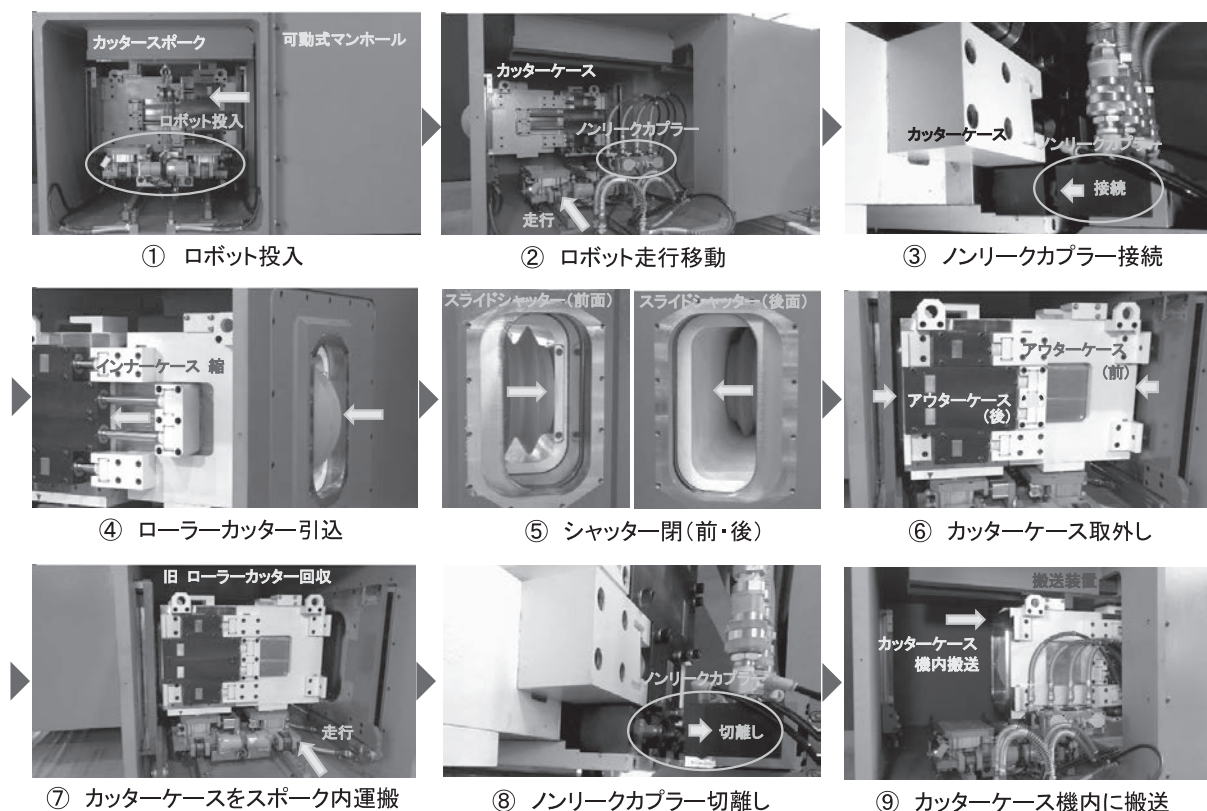
写真—2 カッターケース



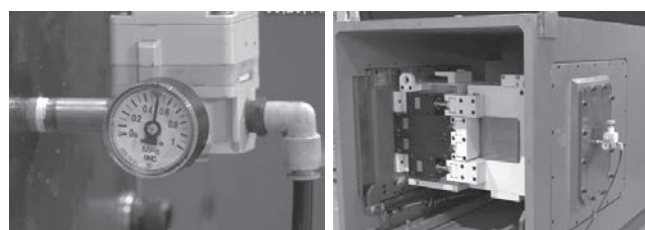
写真—3 ロボット



写真—4 コントローラー



写真—5 ローラーカッター回収順序



写真—6 耐圧試験状況

6. おわりに

実証実験により、本システムは構造的に問題なく作動し、気密性も確保できていることを確認した。これにより従来型のローラーカッター交換方法の課題を解決できる可能性を示すことができた。今後は、実装に向けて更なる小型化と自動化を図り、掘削対象が土砂から岩盤に変化するような特殊な地盤条件の工事へ適用する予定である。

J C M A

[筆者紹介]

田村 憲 (たむら けん)
大成建設㈱
土木本部 機械部 機械技術室
次長



志田 智之 (しだ ともゆき)
大成建設㈱
土木本部 土木技術部 都市土木技術室
部長 (技術担当)

