

支障物撤去シールド工法の開発

DEVELOPMENT OF UNDERGROUND OBSTACLE REMOVAL SHIELD METHOD

直塚 一博¹⁾・木戸 義和¹⁾・甲田 信²⁾・河村 良之³⁾・焼田 真司⁴⁾

Kazuhiro NAOTSUKA, Yoshikazu KIDO, Makoto KOUDA, Yoshiyuki KAWAMURA, Shinji YAKITA

In recent years, there has been increasing cases in that structure construction works by shield tunneling method are hindered by obstacles, such as existing structures and their foundations, on the planned lines of excavation. Measures currently taken when obstacles exist in front of the face in the case of closed-type shield tunneling method are 1) to remove the obstacle on to the ground surface : 2) to remove the obstacles from the face after stabilizing the face ; and 3) to change the tunneling method to either an open-type shield tunneling method or a cut-and-cover method. However, these measures require improvement in terms of occupation of the ground surface, safety of work, workability, term of construction and cost performance. This paper introduces several method for removing underground obstacles, especially a method using a hand drum shape cutter installed on a shield tunneling machine, which cuts down and removes obstacles, and an underground obstacle removal shield tunneling method, with which a slide-type cutting device is installed on the front of the shield tunneling machine.

Keywords: underground obstacle removal shield tunneling method, face, handdrum shape cutter, slide-type underground obstacle cutting device.

1. はじめに

近年、シールド工法により構造物を構築する場合、既設構造物やその基礎が支障物としてシールド計画路線上に出現し、掘進の障害となるケースが増大している。密閉型シールドで、切羽前方に支障物が出現する場合の対策方法としては、

- ① 地上から撤去
- ② 切羽安定対策を施し切羽より撤去
- ③ 開削工法への変更や中間立坑で開放型シールドに改造

等の方法が採用されている。しかし、これらの方法では、地上占用の問題や作業の安全性、施工性、工期、経済性等に課題が残されていた。

本工法は、シールドマシンで支障物を切断・撤去でき、これらの課題を解決することを目的として開発を行ったものである。図-1に鼓型カッター方式による概要図を示す。

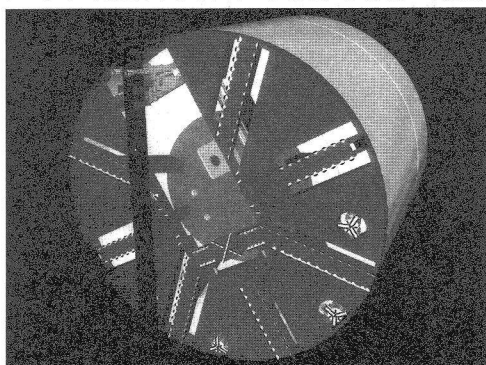


図-1 鼓型カッター方式による概要図

-
- | | |
|--------|-----------------------------|
| 1) 正会員 | (株) 熊谷組 土木技術部シールドグループ |
| 2) | 熊谷テクノス (株) 機械部 |
| 3) 正会員 | (株) 熊谷組 神戸支店 新長田シールド作業所 |
| 4) | (株) 熊谷組 北関東支店 埼玉高速東川口地下鉄作業所 |

2. 全体概要

従来の密閉型シールドでは、切羽前方のH型鋼、鋼管等の鋼材やRC杭、鋼矢板等の支障物の切断・回収が困難であった。これに対して本工法は、密閉型シールドに専用の切断装置および工法によっては回収装置も装備し、作業員が切羽に出ることなく支障物を切断、切削、回収する工法であり、以下の特長を有している。

- ① 通常掘進の状態で支障物を切断、切削、回収可能である。
- ② 補助工法を低減でき、しかも地山を乱さない。
- ③ 三連型シールド機にて駅部を掘進する。
- ④ 作業の安全性、施工性に優れる。

なお、支障物の切断には、超硬チップ埋め込みビット等を用いた機械的切断装置やウォータージェットによる切断装置等があり、支障物の種類、地山の状態、周辺の環境等の施工条件に応じて切断装置を選定することができるシステムとなっている。

以下、例として図-2 に鼓型カッター方式による切断装置図、図-3 にウォータージェット方式による切断装置図を示す。本文では、主に機械的切断装置を装備した鼓型カッター方式およびカッターフェイスの一部に超硬チップを装備した前面スライド方式の支障物撤去シールドを用いた切削、撤去、回収等について紹介する。

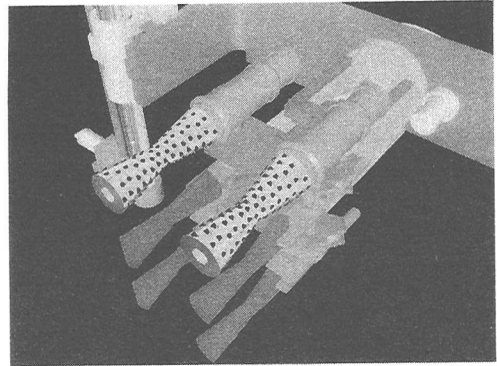


図-2 鼓型カッター方式による切断装置

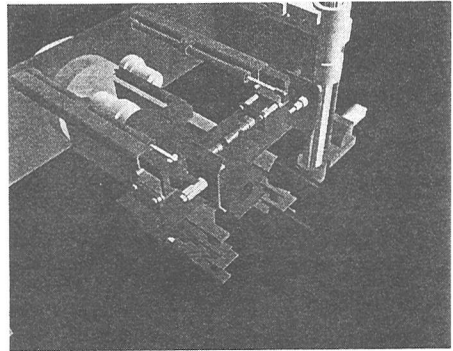


図-3 ウォータージェット方式による切断装置

3. 鼓型カッター装置による支障物切断

鼓型カッター装置は、支障物切断用の鼓型形状のカッター1対(2基)と切断時及び回収時に支障物を把持するための把持ハンド2対(2基×2対=4基)からなる切断・把持装置を面板部に装備した構造を有している。支障物の切断は、この超硬チップを埋め込んだ鼓型カッター部を高速回転することによって行う。なお、カッターを鼓型としたのは、切断時において支障物をつつみこむ構造とすることで、支障物を安定させ、効率の良い切断を行うためである。また、隔壁後部には支障物回収装置を装備し、切断後の回収ができるシステムとなっている。

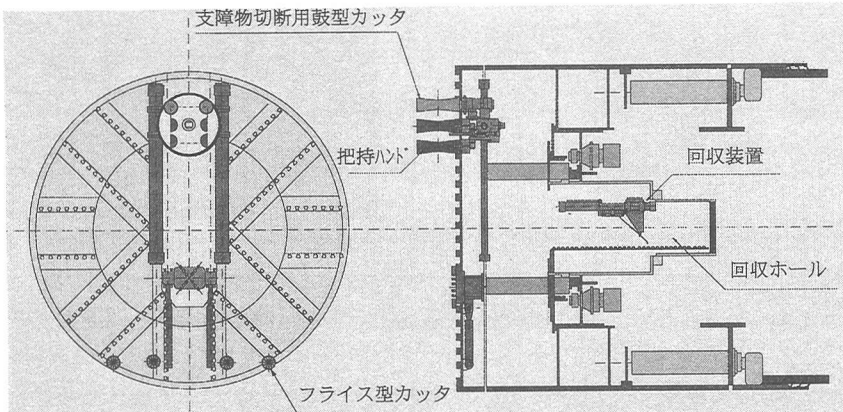


図-4 鼓型カッター方式による支障物撤去シールド詳細図

3.1. 支障物の切断、撤去、回収手順

3.1.1. 切断手順

まず、探査装置により前方の支障物を探査（電磁波による粗位置探査及びロッドによる精密位置探査など）後、切断装置を支障物前方まで移動する。

この状態で、支障物を把持ハンドにて把持し、鼓型カッターを回転させることによって支障物を切断する。切断終了後把持ハンドを外し、切断装置を 180 度面板回転方向に回転させる。次に、再び支障物を把持し、もう片方の切断を行う。支障物を把持したまま本装置を 90 度チャンバー内に倒すことで装置全体をチャンバー内に格納する。（図-5 参照）

3.1.2. 回収手順

支障物を把持した状態で、切断装置を上下にスライドさせることで回収ホール前方のスライドゲート前面までもってくる。この状態で、回収装置のアームを伸ばし、支障物を切断・把持装置から受け取る（図-6 参照）

次に回収装置のアームを縮め回収ホール内に支障物を取り込み、回収ホール内のリフターを上げコンベア上に支障物を落とす。この工程の繰り返しにより順次、支障物を切断・回収し、支障物がある程度貯留した点で、スライドゲートを閉じ、密閉状態として回収ホール内の泥水を抜いた後に、後方ゲートから支障物を取り出す。

3.1.3. 最外周部支障物の切削による撤去

最外周部に残った支障物は、面板に複数装備したフライス型カッターにより削り取り、ルート上の全ての支障物を取り除く（図-7 参照）。なお、本システムは、鼓型カッターの摩耗に対して、シールド機内よりビットを交換できるシステムを有している。

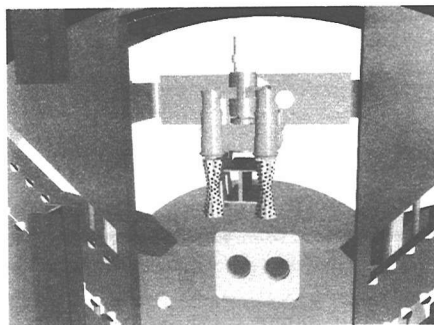


図-5 支障物切断後チャンバー内格納図

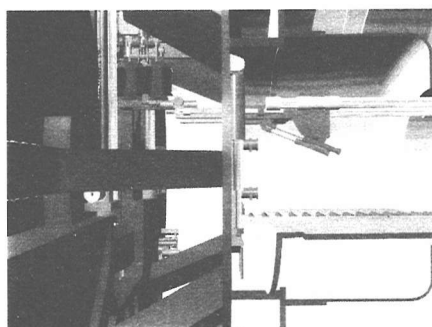


図-6 支障物回収装置受渡図

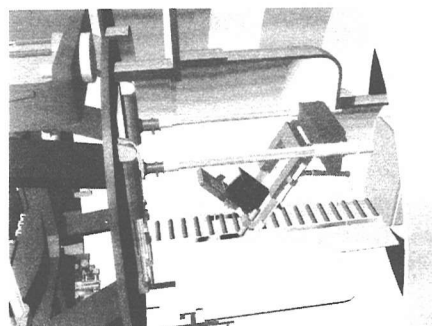
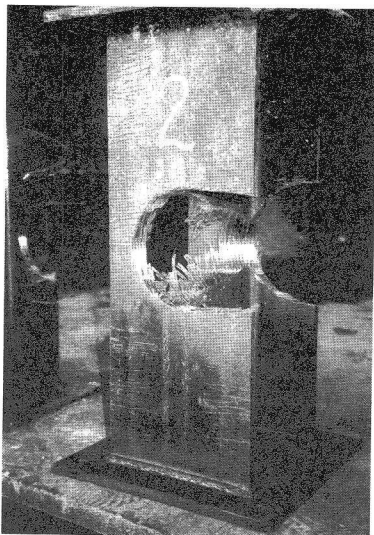


図-7 回収ホール内貯留状況図

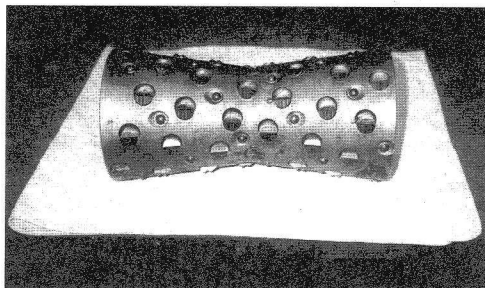
3.2. 切断性能に関する確認実験

切断性能に関する確認実験は、超硬チップを埋め込んだ鼓型カッターを有する切断装置を用いて行った。切断装置は、油圧によりストロークを制御し、カッター回転数を 600～700rpm で回転させることによって切断を行った。

切断対象物として、H型鋼（H-200*200*8*12）、モルタル杭、コンクリート杭を用意し切断を行った結果、H型鋼に関しては約 15 分、モルタル杭・コンクリート杭に関しては、H型鋼の約 2 倍程度の切断時間を要した。H型鋼に関しては 3 本切断後チップの欠け・摩耗など見られなかったが、モルタル杭、コンクリート杭に関しては所々チップの欠け・摩耗が見られた。以下、写真-3 にH型鋼切断完了状況を写真-4 に支障物切断用鼓型カッターを写真-5 に切断性能確認状況を示す。



写真－ 3 H型鋼（H-200）切断終了状況



写真－ 4 支障物切断用鼓型カッター



写真－ 5 切断性能確認試験状況

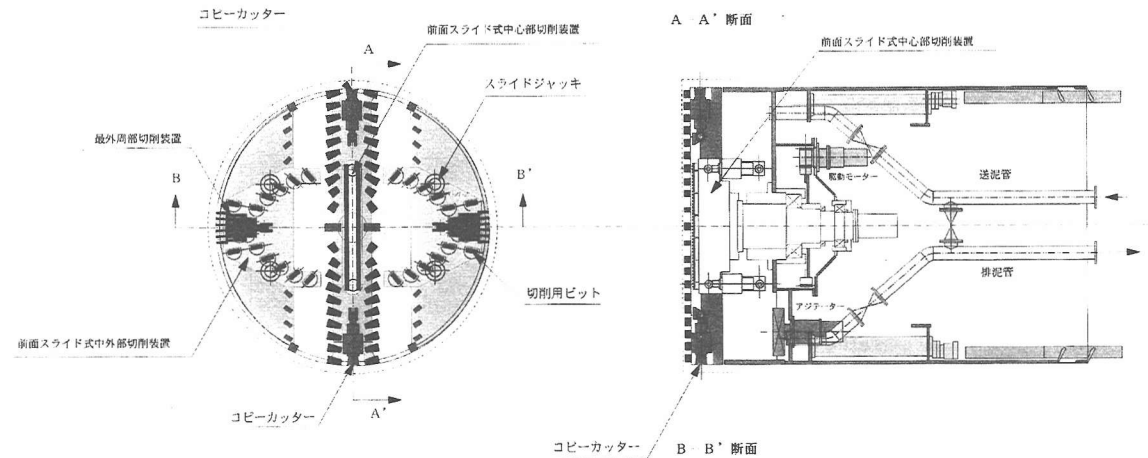
4. 前面スライド式切削装置による支障物切断

本シールド工法は、カッターフェイスにスライド式の切削装置（切削装置には、機械加工用の超硬チップを埋め込んだビットを複数装備）を装備している構造である。図－8で示す中心の楕円形状の前面スライド式中心部切削装置はチャンバー側に2本のジャッキを装備しており本切削装置は主にシールドの中心付近に出現する支障物を切削するためのものである。

また、左右の前面スライド式中外部切削装置も各々2本のジャッキを装備しており、これは、シールドの中心付近以外の支障物を切削するためのものである。支障物遭遇時には、隔壁を反力としてこれらのスライドジャッキを前面に伸ばし（通常掘進時は、通常ビット位置よりチャンバー内側に引き込み格納）、通常ビット位置より前面に押し出すことで支障物に密着させ回転させながら切削を開始する。

なお、2つの扇形状の前面スライド式中外部切削装置は、各々左と右回転用に切削用のチップを配置している。これは、左右に面板を回転させることにより切削を効率的に行うこと、およびシールド機自体のローリングが発生した時に一方をカッター右回転時に使用し、もう一方をカッター左回転時に使用することで、ローリングの修正を図ることを可能にしている。

また、カーブ施工時の支障物遭遇対策、もしくは、最外周部の確実な切断を目的とし、支障物最外周切削スライドカッターを装備している。



図－ 8 前面スライド方式切削装置による支障物撤去シールド詳細図

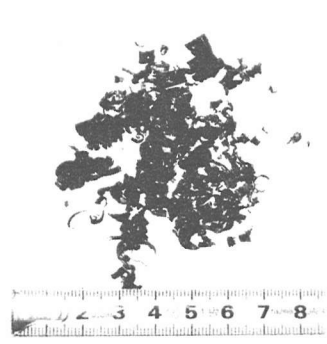
4.1. 切削方法

上記切削装置を密着させ、シールドジャッキによる低速度での掘進（1～3 mm/min を想定）を行いながら、カッター回転数を通常の地山掘削時の回転数の約 2 倍程度の速度で支障物を切削しながら掘進する。

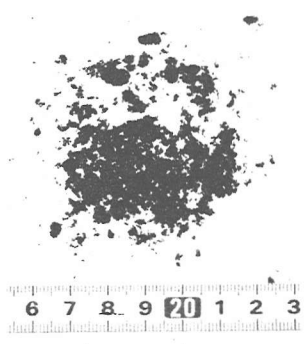
なお、シールド掘進速度を低速度としたのは、支障物切削時のカッタートルクの軽減と、支障物の単位面積当たりの切削時間を多くすることで確実な切断を可能とするためである。また、カッター回転数に関しては速ければ速いほど切削性能は向上するが、カッター支持軸廻りの摺動シールの耐久性を考慮して 2 倍程度と想定しているものである。

4.2. 支障物の回収

写真－1 にカッター摩耗前の切削屑を、写真－2 にカッター摩耗後の切削屑を示す。両者を比較すると超硬チップ摩耗前の切削屑は大きく確実に削り取った後がうかがえるが、摩耗後の切削屑は、摩耗熱によって大きな負荷がかかりなめるように切削しているので細かい鉄粉状になっていることが分かる。このように細かく切削された支障物の切削屑はチャンバー内に土砂と一緒に取り込まれ回収され、スクリーコンベア（土圧式の場合）、もしくは排泥管（泥水式の場合）を通して後方へ（地上）まで送られる。したがって本工法では特別な回収装置は必要なく、通常掘進と同様に回収が可能である。



写真－ 1 カッター摩耗前の切削屑



写真－ 2 カッター摩耗後の切削屑

5. 鼓型カッター方式と前面スライド方式との比較

鋼材対応の鼓型カッター方式と前面スライド方式を下記の表－1 の諸条件に着目し比較する。

表－1 鼓型カッター方式と前面スライド方式比較表

	鼓型カッター方式	前方スライド方式
掘削外径	機械的駆動部分の多様性により制約を受け、掘削外径φ 8.00 m程度以上	機械的な制約は、チャンバー内のジャッキのみであるため、小口径（φ 2.00 m程度）から採用可能
シールド形式	チャンバー内でのスライドを想定するため、泥水式に限定される	切削という概念から回収装置が不要となるため、泥水・土圧両タイプで採用可能
支障物の種類	H型钢、モルタル杭、コンクリート杭等	H型钢、鋼矢板、コンクリート杭等
耐久性	耐久性能としては、H-200 の場合、10 本程度と推定（確認実験結果より）また、カッターに関してはシールド機内からの交換が可能	機内からのビット交換は不可能
シールド機コスト	2 割程度のコストアップ	1 割程度のコストアップ

比較表より、鼓型カッター方式支障物撤去シールドと前面スライド方式支障物撤去シールドを比較した場合、鼓型カッター方式による支障物撤去シールドが優れている点は、

- ①支障物が大量に（H-200 で 10 本以上）出現する場合に、シールド機内から摩耗後の超硬チップの交換が可能であること
- ②支障物を小割にして回収するシステムを有しているので、支障物の撤去量を容易に把握できるため、撤去時の進捗状況を具体的に認識できる

また、前面スライド方式支障物撤去シールドが優れている点は、

- ①掘削外径が小口径から採用できること
- ②泥水式・土圧式の両タイプの採用が可能なこと
- ③面として現れるシートパイル等の切削、撤去が可能なこと

等が挙げられる。

6. おわりに

近年シールド工事の輻輳化により、支障物が出現する計画路線上にルートを選定せざるを得ないケースが多々見られる。支障物の撤去に当たっては、地上から引き抜いたり、地盤改良を施した上でチャンバー内に人が入ることによって人力で掘削しているのが現状であり、工期や安全面に課題が残されていた。本工法は、地上が占用できない場合や、作業の安全性の向上に配慮して開発した工法である。

施工条件や地山の条件に応じて本工法の活用を図るとともに、多種多様な現場条件に対応できるよう適切な改良を加えることでさらに多種多様な条件に応じたシールド工事に適用できるものとする。