

特集>>> 新しい建設材料、最先端の高度な建設技術の開発と実用化

土質に応じてシールドマシンのカッタービットを変更 全地盤対応型「カメレオンカット工法」

西 明 良・佐 藤 琢 磨

シールド工法は、粘性土、砂、玉石混じり砂礫、軟岩に至るまで土質の適用範囲を広げてきた。しかし、これらに対応するカッタービットは掘削する地盤によって異なるため、土質変化が著しい工事においてはカッタービットの交換が不可欠になる。これまで種類の異なるカッタービットの交換はシールド機外で人力により行っており、水圧の高い大深度や可燃性ガスが溶存する地層では危険な作業になる。そこでシールド機内から容易かつ安全にカッタービットの種類と取り付け位置を変更する機械式ビット交換工法「カメレオンカット工法」（以下「本工法」という）を開発した。

本稿では、基本技術である「トレール工法」（以下「本基本工法」という）を交え、本技術の概要について述べる。

キーワード：シールド機、機械式カッタービット交換、土質変化、ローラーカッター、カッタービットの種類と位置変更、トレール工法、カメレオンカット工法

1. はじめに

シールド工法は、外殻で覆われたシールド機を推進させて地山を掘削し、推進した空間に分割したセグメントをリング状に組み立て、トンネルを構築する工法であり、都市部の崩壊性地山における有効な非開削工法として広く採用されている。近年、機械の性能向上等により粘性土、砂、巨石混じり砂礫、軟岩に至るまで適用土質を拡大しているが、掘削対象の土質が変化する工事においては、土質に適した種類のカッタービットに取り替えて対応せざるを得ない。

これまでカッタービットの種類の変更はシールド機の外に作業空間を設け人力により行っていたため、立坑構築や地盤改良など周辺環境に与える影響が大きいばかりでなく、水圧の高い大深度や可燃性ガスが溶存する地層では非常に危険な作業であった。

そのため、シールド機内から安全かつ迅速にカッタービットの種類を変更する機械式の交換技術が求められた。

2. スライド式カッタービット交換工法「トレール工法」

(1) 開発の背景

シールド工法は、環境保全、コスト縮減等の社会的

要求や、過密化による作業用地不足を背景に長距離工事のニーズが高まっていた。長距離工事では、シールド機の耐久性が問題となり、特に地山を掘削するカッタービットの摩耗が限界に達すると掘進不能に陥るため、事前のビット交換が必要である。従来のビット交換工法は、前述したように環境保全、安全性において問題が生じるため、それらを解決する機械式ビット交換工法が求められた。

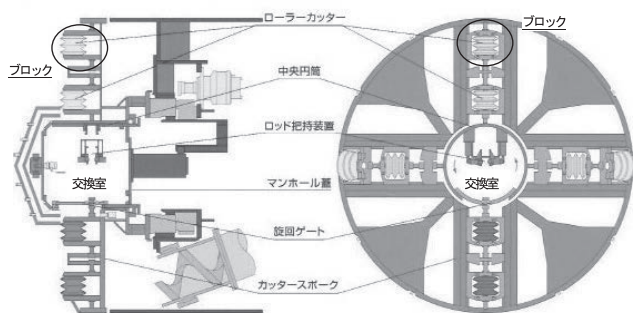
そこで、①最外周を交換できる、②何回でも交換できる、③高水圧に対応できる、④掘進性能に影響を与えないを目標にスライド式ビット交換工法本基本工法を開発した。連結したカッタービットを牽引しながら機内に引き込む方式より「トレール（引きずる）工法」と命名した。なお、本技術は本工法のスポーク部の交換に採用している。

(2) 概要

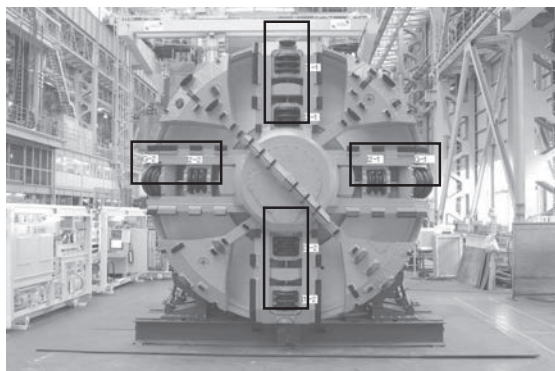
ローラーカッターの交換を例に、本基本工法の概要図と実施したシールド機を図—1、写真—1に示す。

カッタースポーク上に配置されたローラーカッターをブロックごと中央の交換室に引き込み、機内で交換する。

交換室は円筒の二重構造になっており、内筒側を回転させることで交換対象のカッタースポークを任意に選択できる。これにより全てのカッタースポークに配



図ー1 本基本工法の概要図



写真ー1 実施したシールド機

置されたローラーカッターの交換が可能である。ロッド把持装置は、ロッドで連結されたローラーカッターのブロックを交換室に引き込む装置である。ブロックの背面には土砂抜き開口があり、ローラーカッターの目詰まりを防止するとともに掘削性能を確保している。

また、ブロックごとに交換する方式としているため、ビットの種類をティースビットや先行ビットに変更することが可能である。

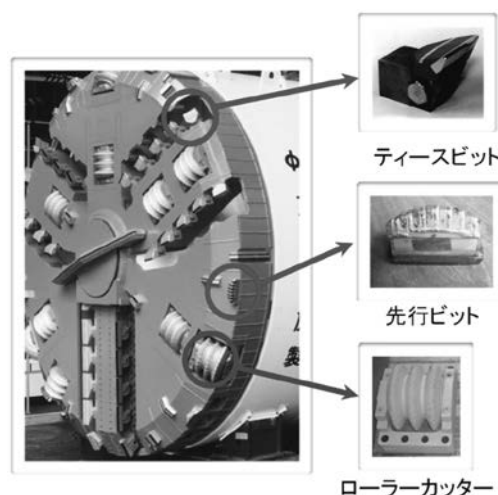
(3) 特長

- ・カッタースポーク上に配置されたすべてのカッタービットを何回でも交換できる。
- ・土質の変化に合わせて、カッタービットの種類を変更できる。
- ・構造が単純であるためカッター装置が肥大化せず、掘削性能に影響を及ぼさない。
- ・1.0 MPaの高水圧まで対応できる。

3. カッタービットの種類と交換の必要性

図ー2にシールド機のカッタービットの種類を示す。

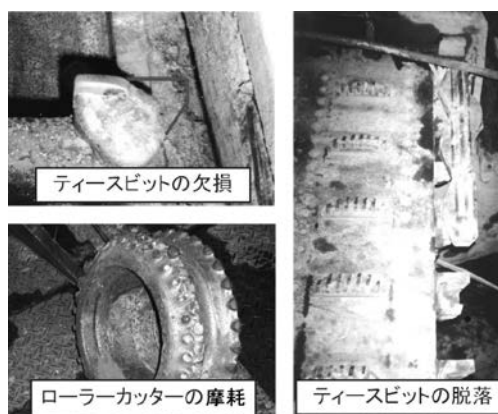
カッタービットには、掘削した土砂を取り込むティースビット、先行して地山をほぐす先行ビット、巨石や粗石を破碎するローラーカッターがある。粘性



図ー2 カッタービットの種類

土から砂、砂礫層までの比較的軟らかい地山（以下土砂山と呼ぶ）では、ティースビットと先行ビットを装備し、巨石や粗石が多く混入する地山（以下硬質地山と呼ぶ）では、ローラーカッターを装備する。ローラーカッターは、回転する刃先を連続的に押しつけて巨石や粗石を破碎するもので、ローラーが回転しない土砂山では切削効果が得られず逆に抵抗になるため不要である。

図ー3に土質に適合しないカッタービットを装備したことによるトラブル事例を示す。カッタービットの摩耗、欠損、脱落が起こり、シールド機の面板が破損するなどの重大なトラブルに至る場合もある。



図ー3 不適合ビットによるトラブル事例

4. カメレオンカット工法

(1) 開発の目的

土質が変化する地山において、土質に適合したカッタービットに掘削断面すべての位置で変更できれば全地盤対応型のシールドが実現する。そこでカッタービットの種類と取り付け位置を変更する機械式カッ

タービット交換工法を開発した。

なお、本工法は、土質に合わせてカッターを交換する様を、環境によって体色を変化させるカメレオンにちなんで命名した。

(2) 従来の課題

本基本工法により、カッタースポーク上に配置されたティースビット、先行ビット、ローラーカッターの相互交換は可能になった。しかし、カッタービットを外周部から中心部に向かって機内に引き込む方式のため、中央部に配置されたカッタービットについては交換の対象外である。

また、引き込み機構の物理的な制約から、カッタービットのブロックを小型化せざるを得ず、カッタービットの取り付け位置は固定されたものであった。

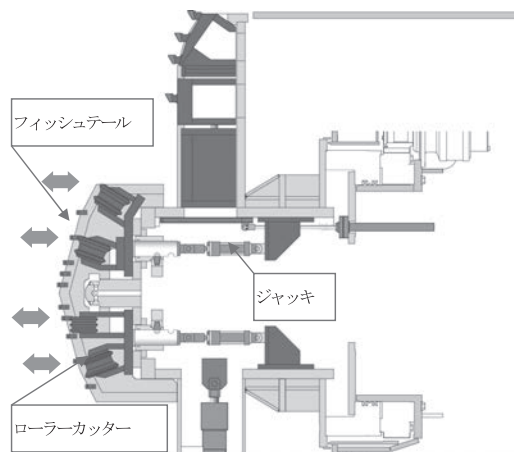
そこで中央部の交換機構と取り付け位置を自由に変更できる機構について検討した。

(3) 中央部の交換機構

カッターの中央部は、カッタースポーク上に配置されたカッタービットの交換室になっているため、それと干渉しないように交換機構を装備する必要がある。カッター中央部の問題点は、破碎できない巨石や粗石によって摩耗が進行するフィッシュテールであり、その区間にローラーカッターを装備することができれば解決する。中央部はカッタースポーク上のカッタービットに比べて摺動距離が短く摩耗量が小さいため、複数回の交換は不要と考え、フィッシュテールとローラーカッターを適時切り替えられる機構とした。

図—4 にカッター中央部の交換機構を示す。

カッターの本体中央にフィッシュテール（土砂山掘削用の大型のカッタービット）を設置し、それと干渉しない位置に、進行方向に前後するローラーカッター



図—4 中央部の交換機構

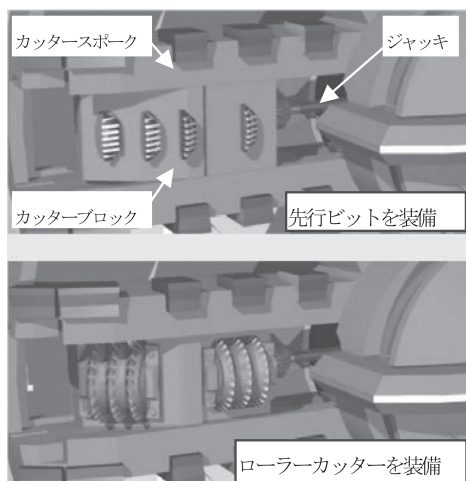
を併設する。ローラーカッターはジャッキにより切削高さを変更できる機構になっている。

土質が土砂山の場合はフィッシュテールで掘削し、硬質地山になるとフィッシュテールの後方に位置するローラーカッターをジャッキにより突き出し、フィッシュテールの切削高さより高くして掘削する。その突き出し量は、シールド機のカッター回転速度と掘進速度によって異なるが、フィッシュテールを完全に保護できる量とする。掘削する土質が再び土砂山に戻った場合は、ローラーカッターを下げ、フィッシュテールで掘削する。

これにより掘削対象の土質に合わせて最適なカッターを装備することが可能になる。なお、後述するカッタースポーク部の交換機構を確保するため突き出し用のジャッキは脱着方式としている。

(4) カッタースポーク部の交換機構

図—5 にカッタースポーク部の交換機構を示す。



図—5 スポーク部の交換機構

複数のカッタービットを装着した大型のカッターブロックを各カッタースポークに配置し、それぞれ対角側にジャッキを装備して中央の交換室に引き込む機構である。

カッターブロック上にカッタービットを自由に取り付けられるため、種類ごとの適切な配置が可能である。

図—6 に本工法のカッターヘッドを示す。土質が土砂山から硬質地山に変わった場合のカッタービットの交換例を示している。

中央部のセンターカッターをフィッシュテールからローラーカッターに切り替え、カッタースポーク部の強化先行ビット（シェルビット）をローラーカッターに交換し、掘削断面のすべての位置に配置されたカッ

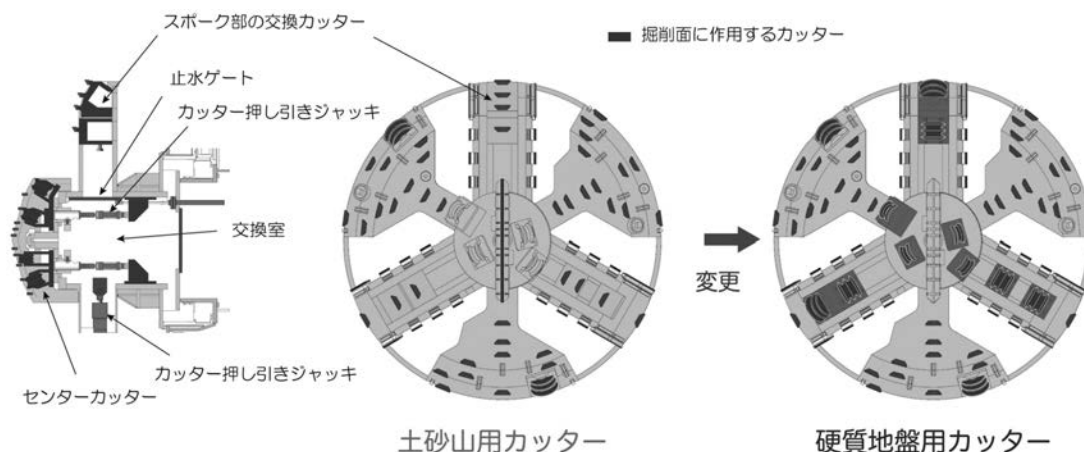


図-6 本工法のカッターヘッド

タービットをローラーカッターに変更する。

土砂山では、中央部にフィッシュテール、カッタースポーク部にシェルビットを配置した土砂山型カッターとなり、硬質地山では全面にローラーカッターを配置した硬質地山型カッターとなる。

(5) 交換手順

【中央部の交換手順】

図-7 に中央部の交換手順を示す。

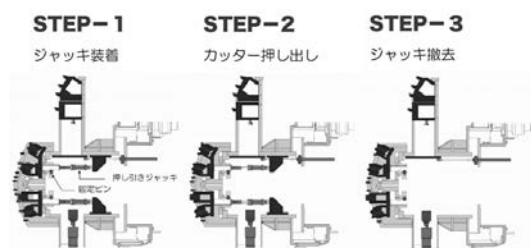


図-7 中央部の交換手順

STEP-1：ジャッキの装着

交換室内にジャッキと反力板を取り付け、ローラーカッターの固定ピンを取り外す。

STEP-2：ローラーカッターの突き出し

ジャッキでローラーカッターを前方に突き出す。

STEP-3：ジャッキ撤去

固定ピンを取り付けてローラーカッターを固定し、ジャッキと反力板を撤去する。

【カッタースポーク部の交換手順】

図-8 にカッタースポーク部の交換手順を示す。

STEP-1：注水、加圧

交換室に機内扉を設置し、注水により室内を切羽の土水圧と同等以上に加圧する。

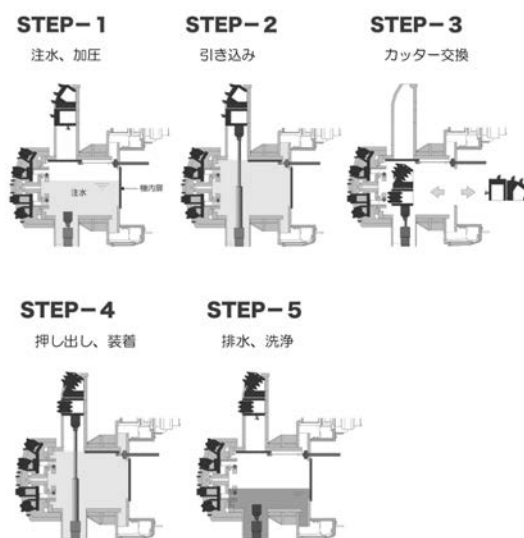


図-8 スポーク部の交換手順

STEP-2：引き込み

ゲートを開け、ジャッキによりカッターブロックを把持し、交換室に引き込む。ゲートを閉めて排水する。

STEP-3：カッター交換

機内扉を撤去し、カッターブロックを機内に取り出して交換する。

STEP-4：押し出し、装着

機内扉を設置し、交換室内を注水加圧後、ゲートを開けてジャッキでカッターブロックを押し出す。

STEP-5：排水、洗浄

ゲートを閉め、交換室内の水を排水後、機内扉を取り外し、交換室内を洗浄する。

(6) 本工法の特長

- ・ビット交換のための作業用立坑や地盤改良が不要なため経済的であり、用地確保や環境汚染の問題も生じない。
- ・シールド機の外に人が出ないため高水圧下や可燃性

ガスが溶存する地層でも安全に作業できる。

- ・ 交換作業を短時間で行えるため工程短縮が図れる。
- ・ 構造がコンパクトなため掘削性能に影響を及ぼさない。
- ・ 複数種のビットの交換がいつでも、どこでも、何回でも可能である。
- ・ 全掘削断面で、交換するビットごとに適切な配置が可能である。

(7) 適用範囲

シールド形式：泥水式，泥土圧式

カッター支持方式：中央支持，中間支持

掘削外径：φ 3.2 m 以上

適用耐水压：1.0 MPa 以下

対象土質：粘土，シルト，砂，砂礫，軟岩

5. おわりに

強度を増した先行ビットの普及，高低差配置方式の定着等によりカッタービットの耐久性が大幅に向上し，途中での交換を不要とする長距離掘進が可能になった。そのため，土質変化のない長距離工事では機械式交換工法のニーズは減少している。しかし，土質変化が著しい場合や，寿命の短いローラーカッターの

装備を必要とする硬質地山ではカッタービットを交換せざるを得ず，機械式交換工法は重要な役割を果たす。土質に応じたビットに変更できる本工法カメレオンカッタ工法は，そのような用途に対応する唯一の機械式カッタービット交換工法である。

今後は，本工法の特長である多様性，環境保全，安全性を活かし，土木技術の発展に努めていく所存である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 西明良他：機械式ローラーカッター交換「トレール工法」による巨礫を含んだ砂礫層（L=3,400m）の長距離掘進，第52回「シールドトンネル工法施工技術」講習会テキスト，pp56-64, 2008.7

【筆者紹介】

西 明良（にし あきら）
飛鳥建設㈱
土木事業本部 土木統括部 機電 G
課長



佐藤 琢磨（さとう たくま）
飛鳥建設㈱
土木事業本部 土木統括部 機電 G
主任

