

# 全地盤対応型シールド「カメレオンカット工法」

## Chameleon Cutter Method of Shield Tunneling Capable of Dealing with All Types of Ground

佐藤 琢磨<sup>※1</sup>  
Takuma Satou

西明良<sup>※</sup>  
Akira Nishi

大野元章<sup>※</sup>  
Motoaki Ohono

### 【要旨】

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拡げてきた。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」を開発した。

本稿では、基本技術である「トレール工法」を交え、本技術の概要について報告する。

【キーワード】 機械式カッタービット交換 土質変化 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している。

これまでカッタービットの種類の変更は、河川下や重要構造物下等の施工が困難な箇所においても、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」

### 2.1 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

ビットの磨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「トレール工法」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、本技術はカメレオンカット工法のスポーク部の交換に採用している。

### 2.2 概要

ローラーカッターの交換を例に、トレール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。

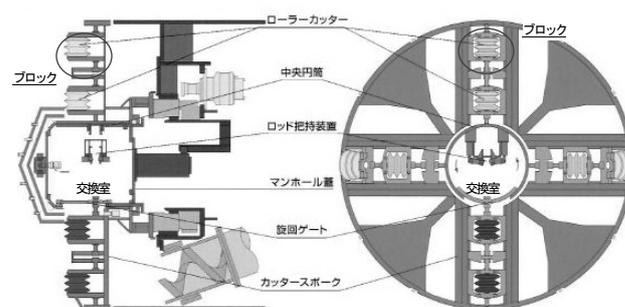


図-1 トレール工法の概要図

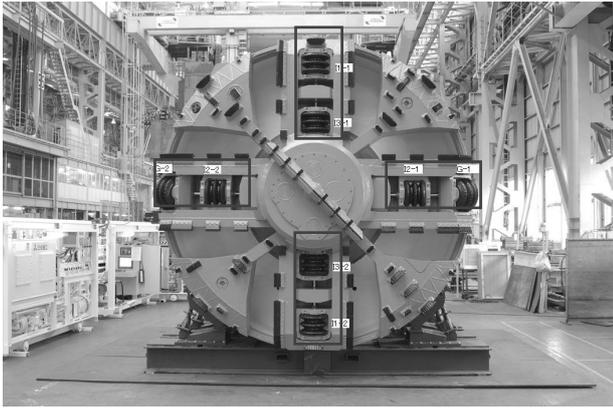


写真-1 実施したシールド機

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、内筒側を旋回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進性能を確保している。

また、ブロックごと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。

なお、一般的なビット交換機構では、その構造の複雑さや寸法の大きさから、シールド機のカッターヘッド部が大きくなるため、カッター回転力や推力などのシールド機仕様を増加させるばかりでなく、重量バランスの偏りによるノーズダウンや曲線施工性の低下、掘削土砂の取り込み力の低下など、掘進性能に悪影響を及ぼした事例が報告されているが、本工法のビット交換機構はコンパクトであるため、シールド機仕様や掘進性能に影響を及ぼさない。

### 2.3 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。
- ・交換機構がコンパクトであるため、シールド機のカッターヘッド部が大きくなり、掘進性能に影響を及ぼさない。
- ・1.0MPa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-2にシールド機のカッタービットの種類を示す。

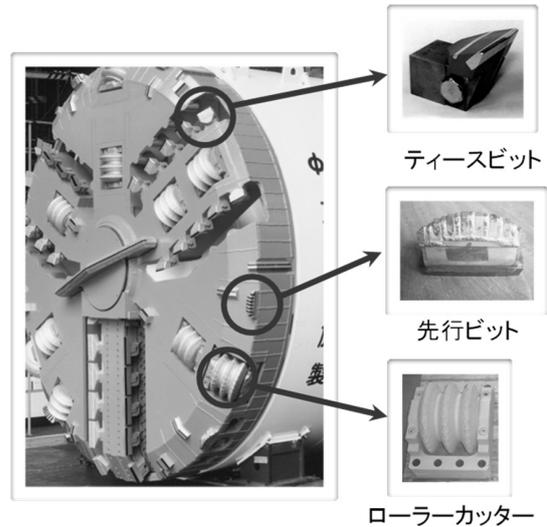


図-2 カッタービットの種類

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。

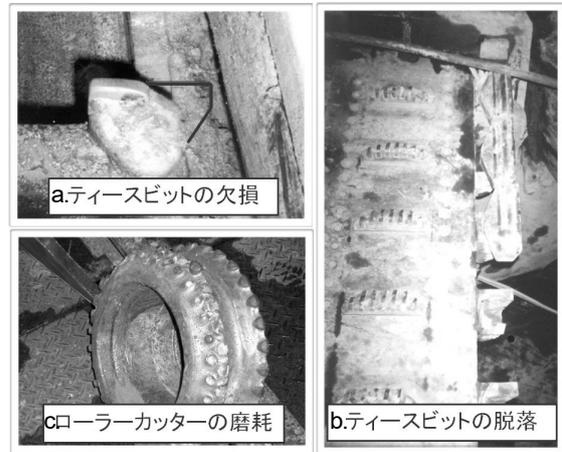


図-3 不適合ビットによるトラブル事例

図-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。

図-3aは巨石や粗石の衝突によりティースビットが欠損し、掘削と土砂の取り込み性能が低下した事例である。

図-3bは硬質地山の出現により土砂山掘削用のティースビットが脱落したため、ビット交換を余儀なくされた事例である。掘進中には脱落したビットを取り込んだため排土機器にも悪影響を与えた。また先行ビットも著しく磨耗しており、仮に掘進を継続していた場合はシー

ルド機の面板が破損するなどの重大なトラブルに発展する可能性もあった。

図-3cは硬質地山の出現を見込みローラーカッターを装備したが、土砂山区間でローラーの回転不良により磨耗した事例である。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となり、シールド機のカッター回転力不足を引き起こした。

これらの事例が示すようにカッタービットが土質に適合しないまま掘進を継続した場合には、カッタービットの磨耗、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。(写真-2)



写真-2 面板の破損

## 4. カメレオンカッタ工法の概要

### 4.1 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いつでも、中央部から最外周までの全掘削断面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「カメレオンカッタ工法」を開発した。

なお、カメレオンカッタ工法は、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。

### 4.2 従来の課題

トレール工法により、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、カッターヘッドの中央部に配置されたカッタービットについては交換できない機構であった。

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。

そこでカッターヘッド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。

### 4.3 中央部の交換機構

カッターヘッドの中央部は、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中央部の交換機構を装備する必要がある。カッターヘッド中央部の問題点は、破碎できない巨石や粗石によって磨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磨耗量が小さいため、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にカッターヘッド中央部の交換機構を示す。

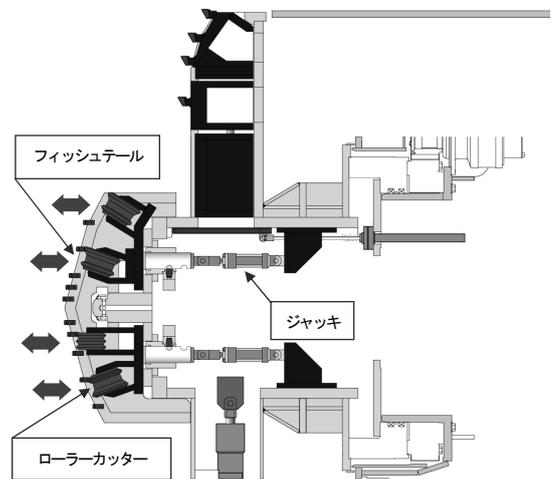


図-4 中央部の交換機構

カッターヘッドの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を併設する。ローラーカッターは押し引き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押し引き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カッター押し引きジャッキは脱着方式としている。

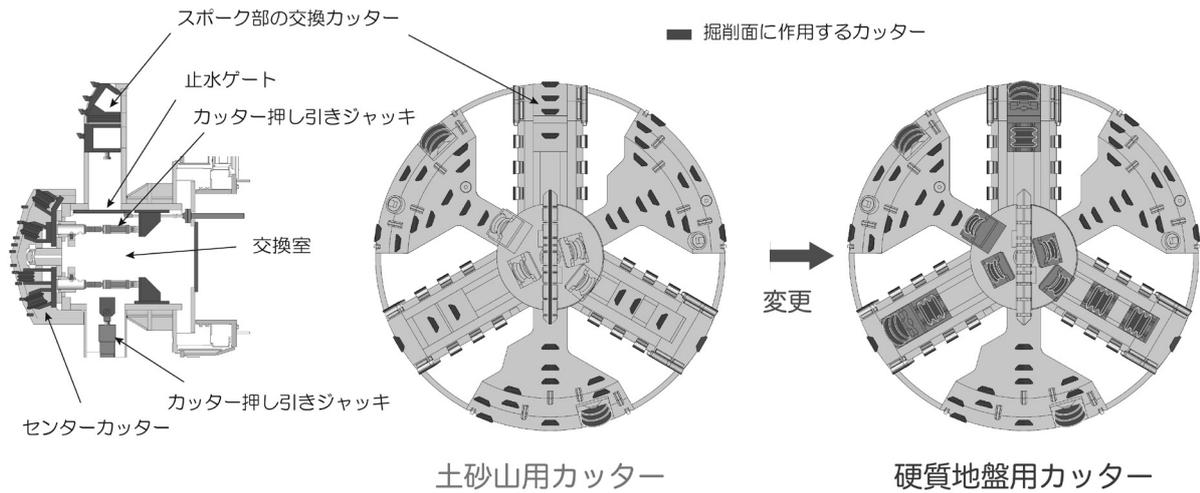


図-6 カメレオンカッタ工法のカッターヘッド

#### 4.4 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。

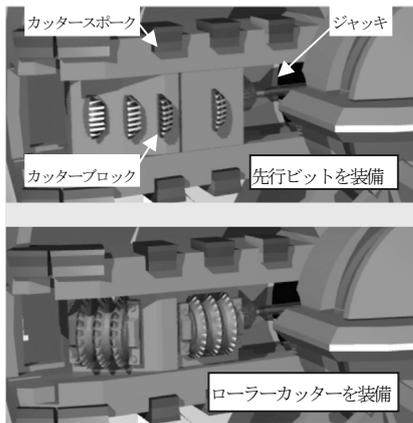


図-5 スポーク部の交換機構

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にカメレオンカッタ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。

#### 4.5 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。

##### 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。

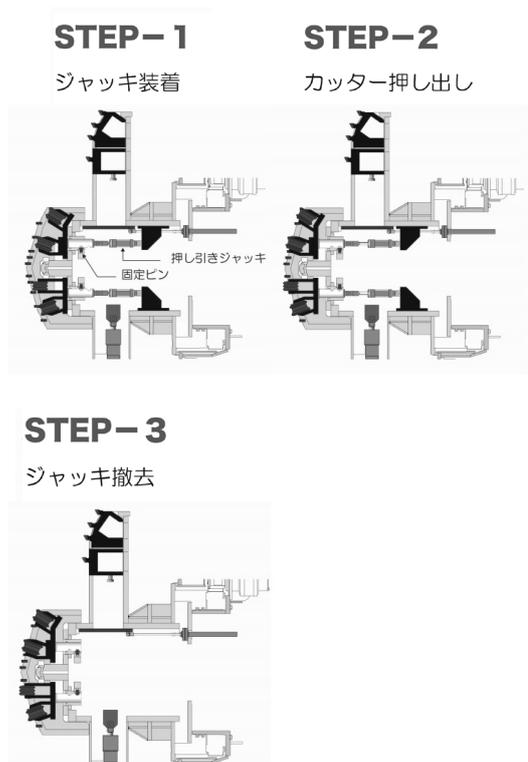


図-7 中央部の交換手順

### 【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。

#### 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。

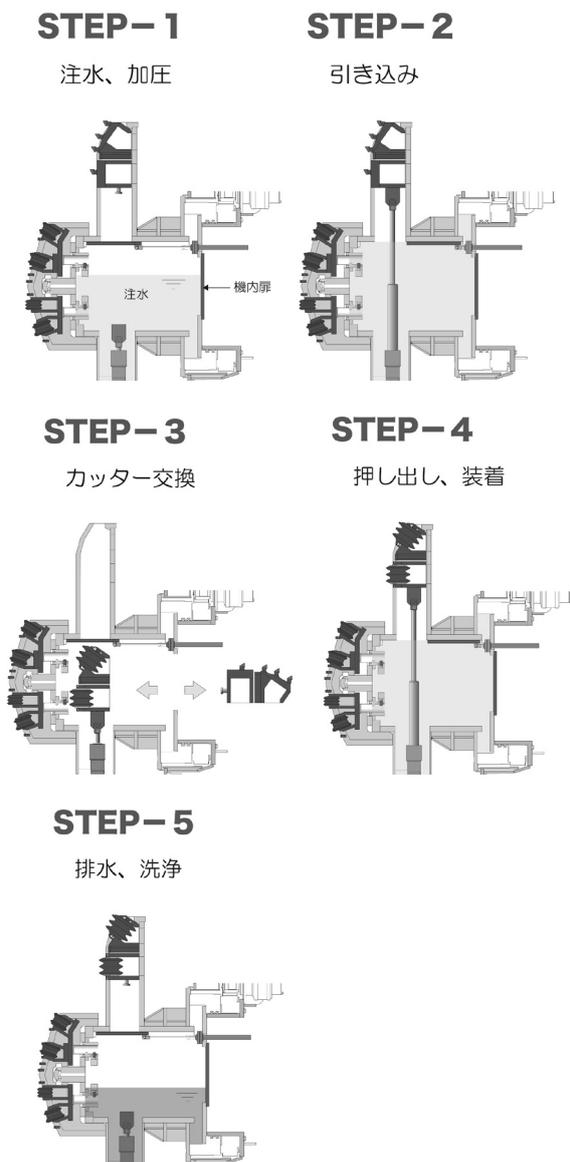


図-8 スポーク部の交換手順

### 4.6 交換日数

φ4.0m級シールド機のカッタービット交換を行った場合、1回当たりの交換日数は、実績より従来工法（地中での人による交換）では約30日掛かるが、本工法では7日で行える。

〔準備1.5日、中央部交換1日、スポーク部交換3日、復旧1.5日：合計7日〕

### 4.7 カッタービット毎の配置例と切削軌跡

カッタービット毎の配置例と切削軌跡を以下に示す。

図-9はローラーカッターの配置例、図-10は先行ビットの配置例、図-11は立坑壁直接切削ビットの配置例である。

カッタービットは、種類毎に取り付け位置と切削軌跡が異なるが、本工法では交換するカッタービット毎に適切な配置が可能のため全地盤対応型シールドが実現する。なお、立坑壁直接切削ビットの配置例は、中央部の交換機構にも同様のカッタービットを装備することが前提である。

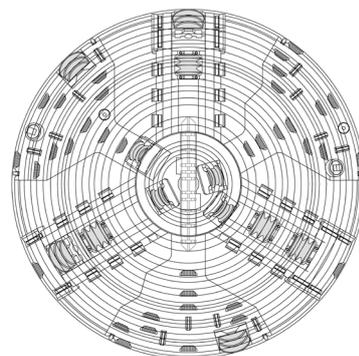


図-9 ローラーカッター配置例

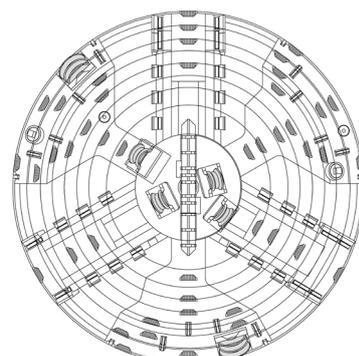


図-10 先行ビット配置例

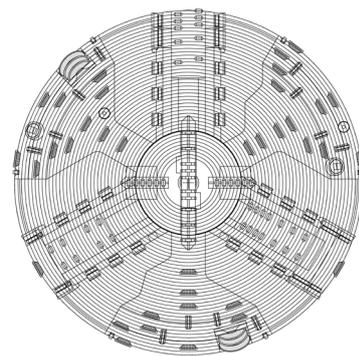


図-11 直接切削ビット配置例

## 5. カメレオンカッタ工法のまとめ

### 5.1 技術のまとめ

本技術はシールド工法の全地盤対応型機械式カッタービット交換技術である。

シールド機のカッタービットは土質毎に種類が異なるため、従来工法では環境保全や作業の危険性に問題を抱えながらも地中に人が出て交換や変更を行うか、掘削性能を犠牲にした同種類一部分の交換しかできない機械式ビット交換技術を採用するかを選択しなかった。

本工法の基本技術である機械式交換「トレール工法」の実証により、掘削性能を低下させずに複数種のカッタービット交換を可能としたが、機構上の制約から中央部の交換やビット配置の変更ができず、高強度の巨石や粗石を含む、より厳しい地盤には対応できなかった。

本技術はトレール工法のもつ特長を残したまま、カッタービットの種類と全掘削位置でのビット配置を変更できる全地盤対応型の機械式ビット交換工法であり、交換機構を改良進化させ、中央部の交換やビット取り付け位置の変更を可能とした他社には無い、極めて有利な独自技術である。

### 5.2 特長

- ①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を生じない。
- ②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。
- ③交換作業を短時間でできるため工程短縮が図れる。
- ④構造がコンパクトなため掘削性能に影響を及ぼさない。
- ⑤複数種のカッタービットの交換がいつでも、どこでも、何回でも可能である。
- ⑥最外周を含む全掘削位置で、交換するビットごとに最適な配置が可能である。

- ⑦土質変化に合わせて常に最適なカッタービットを装着でき、ビットの不適合による掘進効率低下やカッター装置のトラブルを防止する。
- ⑧支障物切削用カッターを開発することにより支障物除去用途への発展性を有している。

### 5.3 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：φ3.2m以上

適用耐水圧：1.0MPa以下

対象土質：粘土、シルト、砂、砂礫、軟岩

## 6. 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。

### 【参考文献】

- 1) (有)日本プロジェクト・リサーチ：第52回シールド・トンネル工法施工技術講習会テキスト，pp.56-64，2008.7.

**Summary** The scope of application of the shield tunneling method has been expanded over the years to the extent of covering a wide range of ground conditions including cohesive soil, sand, gravel containing boulders, and soft rock. Since, however, different ground conditions require different types of cutter bits, it is necessary in tunnel excavation that is to be carried out under wildly variable ground conditions to change cutter bits to meet changing boring needs. Conventional practice in a project requiring the use of different types of cutter bits is to manually change cutter bits from outside the shield machine, which can be a dangerous task when excavating at great depth under high water pressure or driving through a formation containing dissolved combustible gas. To solve this problem, the authors have developed the Chameleon Cutter Method, a mechanical bit change method designed to change the types and locations of cutter bits easily and safely from inside the shield machine. This paper briefly reports on the newly developed shield tunneling method, touching on the Trail Method technology on which the new method is based.

**Key Words** : *mechanical cutter bit exchange, soil quality change, the kind of cutter bit and change of location, Trail method of construction, Chameleon cutter head method of construction*