

13. カッター引込み式工法によるビット交換方法の開発（作業用立坑や地盤改良を不要としたシールド機のビット交換工法）

カッター引込み式工法研究会：○杉森 真、上嶋 正樹、山内 悟

1. はじめに

カッター引込み式工法は、シールドのカッタービット交換において、作業用立坑や地盤改良を必要とせず、全数のカッタービットを何回でも交換できる工法である。

本工法は、シールドマシンのスキンプレート内にカッターヘッド部を引込むと同時に、固化材を充填することでスキンプレートに囲まれた不透水性の改良区間を形成し、それを止水壁とした安全な空間でカッタービットを交換するものである。

本工法は、施工実績のある機械的地中接合、C I D工法（Concentric Interlace Docking）を基本とした従来安定技術の応用で、安全にカッタービットを交換することができる。

本報文では、カッター引込み式工法の概要、カッタービット交換の施工順序、および、止水壁の形成実験結果について紹介する。

2. 開発経緯

近年、大都市部におけるシールドトンネル工事は、用地の取得が困難なことや地下構造物の輻輳化、地表構造物の密集化などにより中間立坑の築造が難しく、またその築造コストを削減するために、長距離化する傾向にある。長距離のシールドトンネル施工では、カッタービットの耐久性が重要なポイントになるが、長距離化によってさまざまな土質を掘進する場合、各土質に適したカッタービットに交換することにより、掘削速度が向上し、効率的な施工が可能になる。

カッタービットの交換は、中間立坑内で行うか、シールド機を地盤改良域内で停止させ、シールド機の外部が隔壁より地山側へ作業員が出てカッタービットを交換する方法が一般的であったが、中間立坑の築造や地表からの地盤改良の築造工費と工程が大幅に増加するため、これらを必要としない機械的ビット交換工法が提案され実施工に採用されてきた。

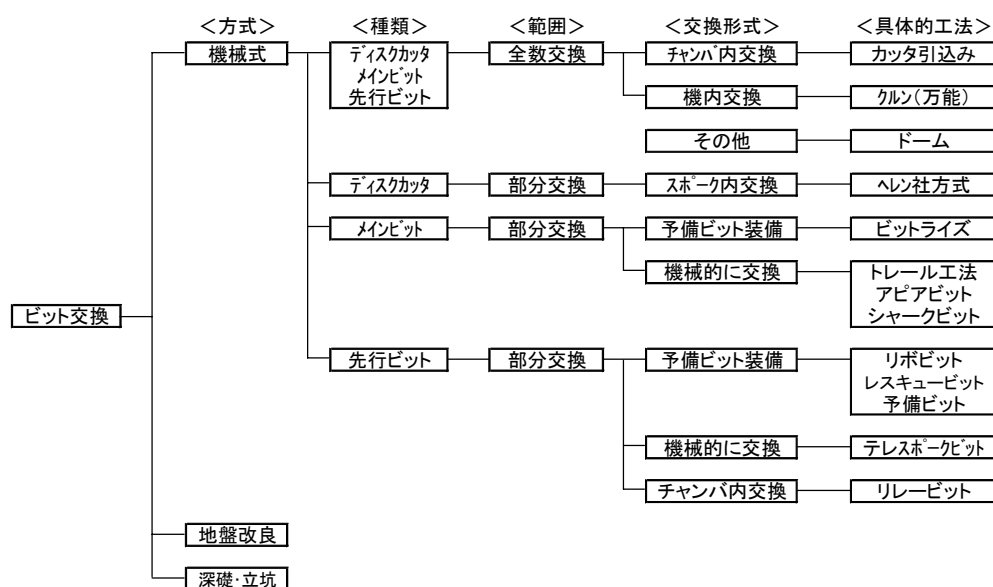


図-1 カッタービット交換工法の分類

しかし、これらの実績ある工法は、掘削外径4m程度以上が必要であったり、全数交換できなかつたり、カッタービットの耐久性に一番影響する砂礫地盤に欠かせないディスクカッターの交換ができない等の課題があった。

今後のシールドトンネルの施工効率は、いかに迅速に、安全に、何度でも、カッタービットを交換できるかに大きく影響されることから、ディスクカッターの交換ができ、全数交換できるカッタービット交換システムの開発が望まれていた。

3. カッター引込み式工法の概要

(1) 工法の説明

カッター引込み式工法では、縮径したカッター本体をスキンプレート内に引込むと同時に、カッター前面に固化材を充填することにより、スキンプレート内に改良ゾーンを形成する。固化材の種類や強度、改良ゾーンの長さなどは、地下の土水圧条件に応じ設定する。力学的に安定かつ止水の確保されたカッターチャンバ内で、人力による全てのカッタービットの交換が可能となる。所定の交換が終了の後、固化壁をカッターにより切削しながら押出し、一連のビット交換作業が終了する。

(2) 工法の特長

本工法の特長は以下に示す通りである。

① 任意の場所でビット交換が可能

(ビット摩耗による掘進不能等のリスク回避)

- ② 全てのビット(ディスクカッター含む)の交換が可能
- ③ 繰返しビット交換作業が可能
- ④ 中小口径への適用が可能
- ⑤ チャンバー内作業のため、カッター点検・補修が可能
- ⑥ 構造がシンプルで、本来の掘削機能を損なわない
- ⑦ 従来技術の応用で安定かつ安全な工法
- ⑧ 地上からの地盤改良や立坑が不要
- ⑨ 工程の短縮
- ⑩ 建設コストの縮減

また、シールド工事の特殊施工において、本工法を応用することにより地盤改良を不要とするなどの効果が得られる。以下にその応用例を示す。

① 機械式地中接合が可能

② 親子シールドの地中分離が可能

(3) シールド機の構造

本工法に用いるシールド機は、通常と比較して、以下に示す機械的な特殊機構を装備している。

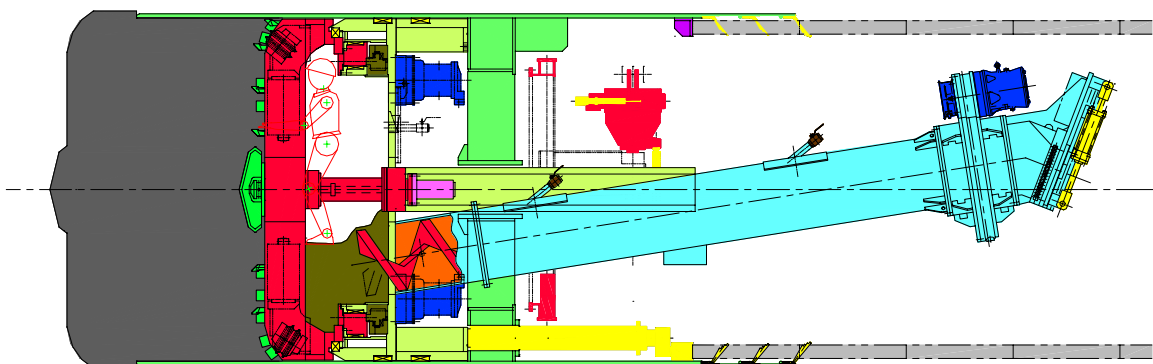
① スポーク、面板の拡張機構

スポークの拡張機構に関しては、機械的地中接合法、球体シールド工法等で、幅広く用いられており、課題となる『縮径量の確保』に関しても、

$$\text{【縮径量】} = \text{【フード板厚】} + \text{【クリアランス】}$$

であるため必要量が小さく、中小口径シールドへの適用が可能となっている。

面板の拡張機構に関しては、施工事例が極めて少ない現状ではあるが、縮径量が小さくてすむため、シンプルな機構で実現が可能である。また、実施工では、



図ー2 カッター引込み式工法概念図

引込み寸法の固定面板と伸縮カッターの組合せによる泥水式シールドの施工例も有り、シールド機種（土圧式／泥水式）に制約を受けることなく、幅広い適用が可能となる。

②カッター本体の前後スライド機構

カッター本体のスライド機構には、以下に示す2つの形式があり、条件に応じて使い分けを行う。

a) 単純スライド構造

所要の引込み寸法を考慮した固定のフード（スキンプレート）を装備し、カッターを1動作で引込むシンプルな機構。単純スライド構造によるカッター引込み式工法の施工手順を図－3に示す。

b) スライドフード構造

機長の短縮と引込み寸法の向上を目的とし、スライドフードを押出した後、カッター引込みを行うため、2重構造のフード（スキンプレート）を採用した機構。

（4）切羽の安定

カッター引込み時における切羽の安定は、クレーショック（高粘性可塑状充填材）と固化材充填によって確保している。

カッター引込み準備段階において、チャンバー内の掘削土砂は、クレーショックにて予め置換する。クレーショックは粘性が非常に高い充填材で、透水性が低く、地下水等によって容易に希釈されない性質を有している。また、加圧下における体積変化が非常に少ない。このため、チャンバー内の土砂と置き換え充填を行った場合でも、チャンバー内に安定した状態で存在することができ、切羽地山の保持が可能である。また、クレーショックは固化しないため、カッター引込み

後チャンバー内から容易に排出することが可能である。カッター本体をスキンプレート内に引込む際、カッター先端部より固化材を注入し、カッター本体引込み時に発生する空隙を充填する。この固化材は、2液混合型の可塑状注入材料で、一般的にはシールドトンネルの裏込め注入材として使用される。この材料の特徴は、2液を混合した後5～10秒以下でゲル化し、可塑状固結領域を経て早期に強度を発揮する。この固化材を、スキンプレート内に加圧充填することで、切羽地山の安定を図りつつカッターと切羽地山の間に固化壁を形成させる。固化壁は、スキンプレート内面との付着力と、カッターフェイスによって支持されている構造とみなし、土水圧に対して十分な強度と止水性を確保できる厚さとする。

クレーショックと固化材の配合例を表－1、表－2に示す。

（5）適用範囲

本工法の適用範囲は以下に示す通りである。

- ① 適用シールド径：φ 2.5 m以上
- ② 適用機種：土圧式、泥水式双方に適用可能
- ③ 適用土質：転石・玉石混じり砂礫層
その他一般土砂層
- ④ 地下水圧：0.3 MPa程度を目安
(水圧条件に応じ引込み寸法を設定する)
交換回数：2回以上の交換でコストメリット有り

表－2 裏込め注入材配合例

A液						B液
硬化材	助材 クレーサンド	起泡剤	安定剤	水	空気	塑強調整剤
タックマイト	TAC-α	TAC-2	TAC-Re	清水	—	TAC-3S
350 kg	35 kg	0.5 kg	4.5 kg	634 L	135 L	100 L

ゲルタイム 5秒以内

$$\sigma_{1H} = 0.1 \sim 0.15 \text{ N/mm}^2$$

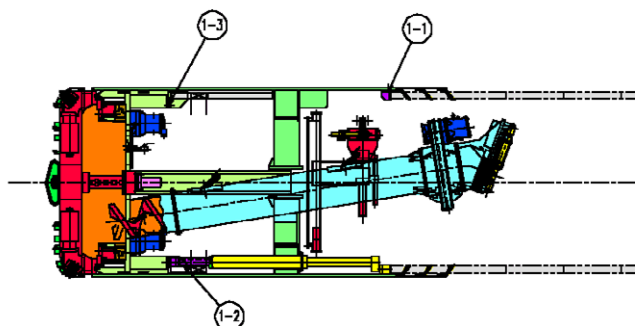
$$\sigma_{1H} = 2.0 \text{ N/mm}^2$$

表－1 クレーショック配合例

A液		B液
助材クレーサンド	水	塑強調整剤
TAC-β	清水	TAC-3S
520 kg	800 L	50 L

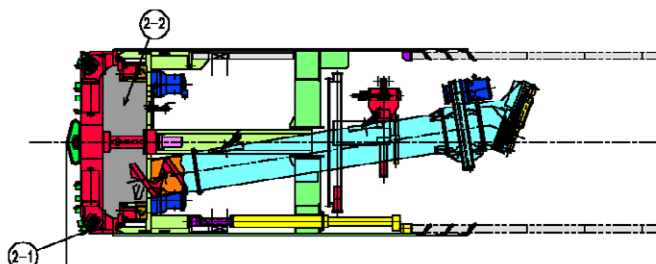
(1) カッターヘッド部の引き込み準備

- 1-1 シールドジャッキとテールスキンプレーートを固定する。
- 1-2 シールドジャッキをリングガーダー部から取外し、カッターヘッド部とジャッキの前面の隙間にスペーサを入れる。
- 1-3 フード部とカッターヘッド部の固定を外す。



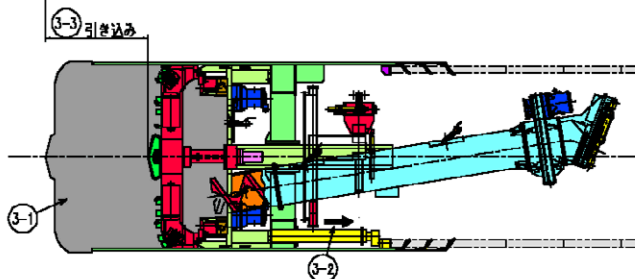
(2) 充填材(固化しない)の注入

- 2-1 伸縮カッターを全て縮径し、引き込み準備完了。
- 2-2 カッターを回転させ、スクリーコンベヤーから土砂を出しながら、充填材をチャンバー内に注入し、土砂と置換する。



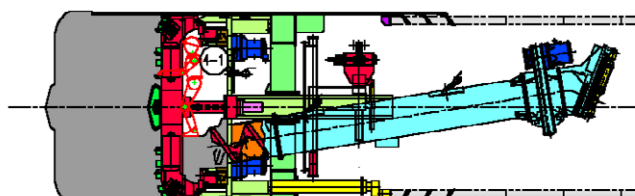
(3) カッターヘッド部の引き込み

- 3-1 注入管をシールド機からカッター前面に出し、固化材を注入する。
- 3-2 注入圧とシールドジャッキの圧力を同調させ、安定した速度でカッターヘッド部を所定の位置まで引き込む。



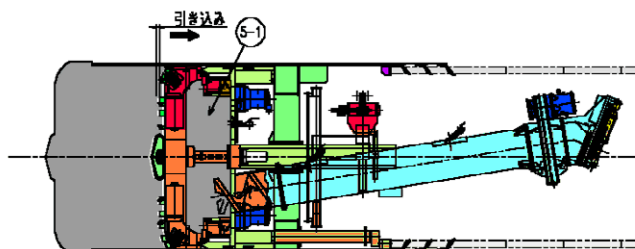
(4) カッター部の点検及びカッタビットの交換

- 4-1 チャンバー内の充填材を排出してカッター部の点検及びカッタビットの交換を行う。



(5) カッターヘッド部と固化材との縁切り

- 5-1 交換作業の終了後、チャンパー内に充填材を再注入する。注入圧に同調してカッターヘッドを引き込み、固化材とカッターの縁切りを行う。



(6) カッターヘッド部の復帰

- 6-1 カッターを回転させ、同調で縮めたシールドジャッキを伸ばして固化材を切削する。
- 6-2 カッターヘッド部が所定の位置に復帰したところで、引き込み準備の作業で行った固定等を復旧する。

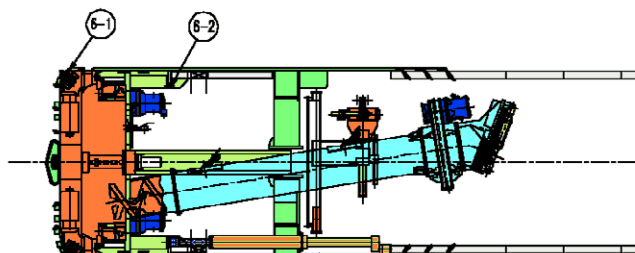
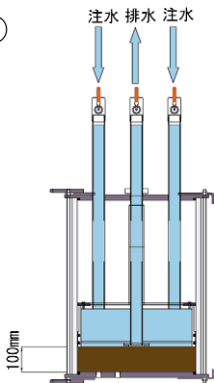


図-3 単純スライド構造 ステップ図

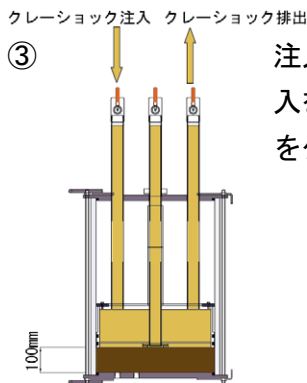
- ① モデル前部に厚さ 100mm の土層を作成する。



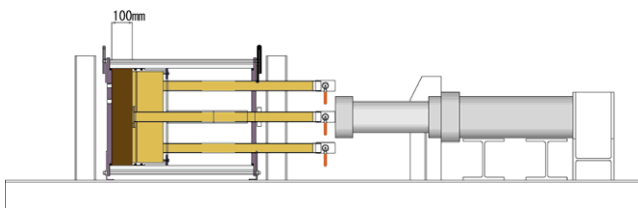
- ② 模型内にカッター揺動部を取り付け、注入管より注水しモデル内部に水を充填する。



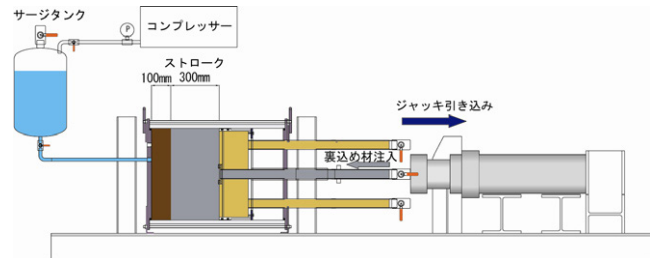
- ③ 注入管よりクレーショック注入を行い、チャンバー内部の水をクレーショックで置換する。



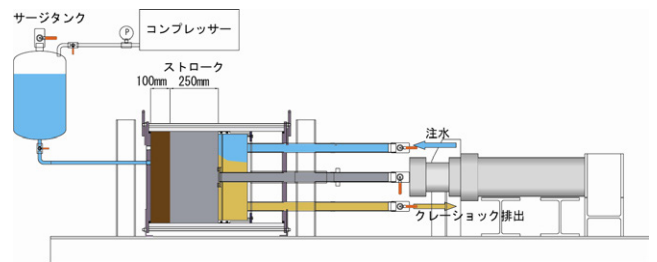
- ④ クレーショックを充填させたモデルを、引き抜きジャッキ架台に設置する。



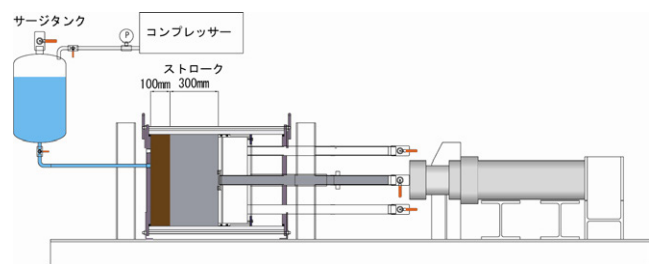
- ⑤ モデル前部にもうけた注水孔より、内部に水圧をかける。水圧を作用させる為に、サージタンクを用いエアコンプレッサーにて加圧する。中央注入管より、裏込め注入材を注入しながら、ジャッキにて揺動部を引込む。



- ⑥ 裏込め注入材の強度が発生した後に上部注入管より注水し、下部の注入管からクレーショックを排出する。



- ⑦ 揺動部内の水を排出し、モデル前部からの漏水が無いことを確認する。



- ⑧ モデルを解体し、チャンバー内に固化材が浸入していないことを確認する。

図-4 実験手順

4. 止水壁の形成実験

本工法において、カッター交換を安全に行うためには、クレーショックおよび固化材の充填、止水壁の形成の可否が重要となってくる。そこで、シールドマシンカッター引込み部のモデルを製作し、止水壁形成の確認を行った。

(1) 実験の目的

本実験の目的は、固化材の注入状況と、造成後の固化壁の形成状況を確認することであり、具体的に以下の項目を検証した。

- 固化材が、カッター引込みと同調してスキンプレート内に充填され、止水壁が形成されることを確認する。
- クレーショックが、固化材と混ざり合うことなくチャンバー内に存置され、容易に撤去できることを確認する。
- 形成された止水壁が十分な遮水性を有していることを確認する。

(2) 実験概要

シールドマシンカッター引込み部の試験モデルは、外径φ510mm、長さ700mmで、固化材の充填状況を目視確認できるように、シールドマシンのスキンプレートは、透明の亚克力樹脂を使用した。

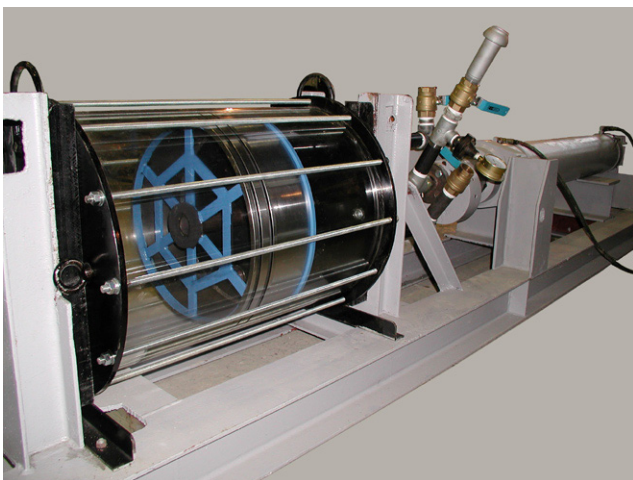


写真-1 カッター引込み式工法試験モデル

実験モデルを写真-1に示す。実験は、図-4に示す実験手順により進めた。

(3) 実験の結果

前述の手順に基づき、平成16年7月21日に㈱タック機材センターにて、公開実験を行った。実験の結果、固化材はスキンプレート内に充填され、止水壁が形成されるプロセスを目視確認することができた。写真-2は、固化材の充填状況である。注入終了後、解体し固化壁を調査したところ止水壁に十分な遮水性があることが確認できた。

モデル解体後もチャンバー内には、止水壁はカッターフェイス前面に形成されており、チャンバーの中に固化材が入り込んでいないことを確認した。

6. おわりに

カッター引込み式工法の引込み機構については、機械式地中ドッキング工法(CID工法)で、複数の実績があり実用化されている。今回の実証実験により、引込み後の固化壁の造成についても実用段階であることの確信が得られ、実施工での適用を検討している。本工法は、石川島播磨重工業㈱、川崎重工業㈱、佐藤工業㈱、㈱立花マテリアル、㈱タック、中部電力㈱)によるカッター引込み式工法研究会で実施工の適用を検討している。

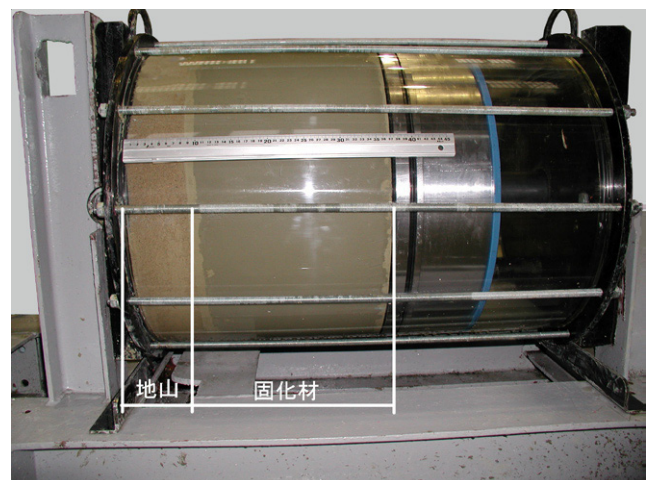


写真-2 固化材注入状況