

総論

# 都市インフラを支える 土圧（泥土圧）式推進工法入門 ～基本原理から現場管理の要まで～

なかむら こうしん  
中村 光伸  
機動建設工業(株)  
関東支店次長



## 1 はじめに

都市部におけるライフライン整備は、密集した既設埋設物や交通への影響を最小限に抑えるため、非開削工法である推進工法が不可欠な技術となっています。なかでも土圧式推進工法は、掘削土を圧力媒体として利用する合理的な仕組みにより、狭隘な現場環境や多様な地層で広く採用されています。本特集では、推進工事に携わる若手技術者や、改めて基本を整理したい方々に向け土圧式推進工法の基本原理を再確認するとともに、施工上のポイントを詳説します。掘削土を塑性流動化させるのに必要な添加材の注入装置を装備していない場合を「土圧式」、装備している場合を「泥土圧式」と区分しています。

## 2 土圧式推進工法とは

土圧式推進工法は、カットヘッドで掘削した土砂をチャンバ内に攪拌・充満させ、その「土圧」によって切羽の安定を確保しながら、スクリュコンベヤで排土して掘進する工法です（図-1）。

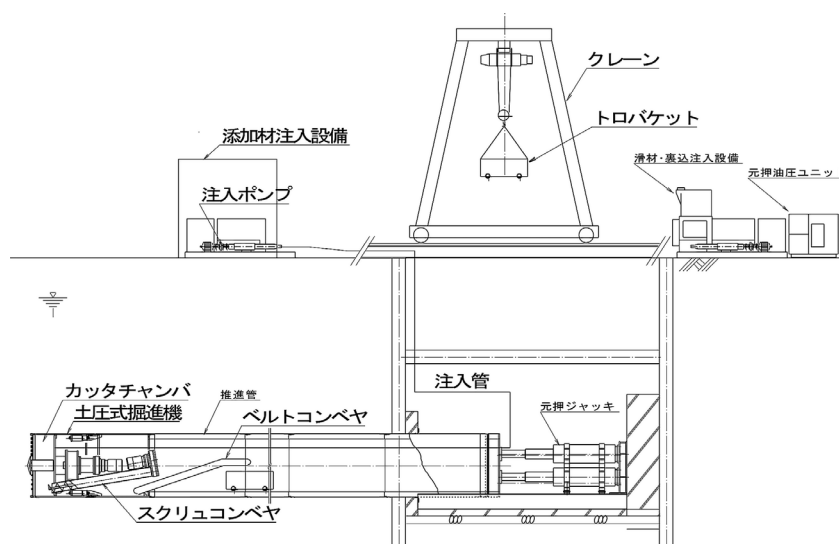


図-1 土圧式推進工法の概要

### 2.1 密閉型3工法における土圧式のメリット

地下水位が高い地盤や崩壊性の強い地盤で用いられる密閉型推進工法には、主に「泥水式」「土圧式」「泥濃式」がありますが、土圧式には他工法にはないメリットがあります。

#### (1) 地上設備の省スペース性

泥水式や泥濃式は、大規模な泥水処理プラントや水槽群、泥水調整設備を必要とします。これに対し、土圧式は添加材注入設備と排土搬出設備が主となるため、地上占有面積を大幅に縮小できます。これは、道路幅員が狭く工事基地の確保が困難な都市部施工に

において、決定的な優位性となります。

## （2）地層変化への柔軟な適応

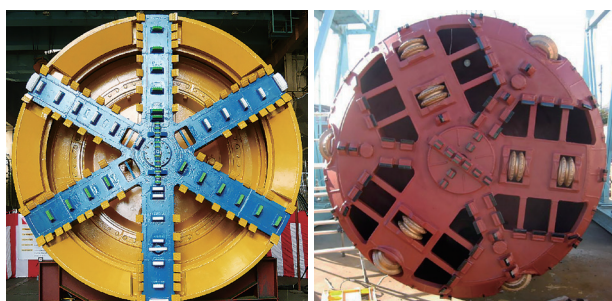
添加材の調整により、粘性土から砂礫層まで幅広い地層に対応可能であり、特に細粒分が適度に含まれる地盤では非常に安定した施工が可能です。

## （3）小土被りでの施工

小土被り施工では、切羽バランスの保持と繊細な土量管理が必要です。切羽保持については他2工法に比べ、土圧の制御範囲が主働土圧～受働土圧の間で管理する土圧式が優位です。土量管理については、掘削対象土量＋添加材量の合計で管理できるため、泥水式よりも優位で確実です。

## 2.2 掘進機カッタヘッド

掘進機の最前方に位置するカッタヘッドは、地盤を直接掘削し、チャンバ内へ土砂を取り込み、チャンバ内での土砂と添加材の混練など重要な役割を担います。土質調査結果により、カッタヘッドの形式を選定します（写真－1）。また、チャンバ内の攪拌翼の取付けや添加材吐出口の位置も非常に重要です。



写真－1 カッタヘッド（スポークタイプ（左）、面板タイプ（右））

### （1）スポークタイプ

開口率が大きく、添加材と掘削土の練り混ぜに優れ、砂質土・粘性土に適している土圧式では主流。

### （2）面板タイプ

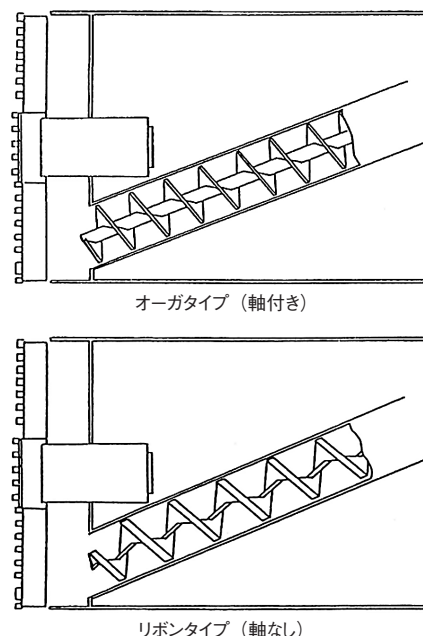
ローラビットやシェルビットを取付けることで礫質土・巨石への対応も可能

## 2.3 スクリュコンベヤ

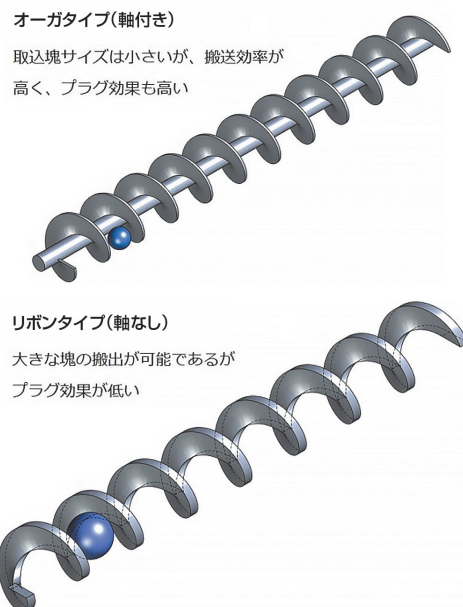
スクリュコンベヤは、単なる排土搬送機ではなく、チャンバ内の圧力を維持しながら土砂を排出するための「切羽圧力調整弁」として機能します。元押ジャッキの推進速度とスクリュの回転数を同期させ、取り込み量と排土

量を一致させることが地盤変状を防ぐ基本となります。

スクリュ形式も土質調査結果により、選定します（図－2、3）。



図－2 スクリュコンベヤ断面



図－3 スクリュコンベヤ搬出イメージ

### （1）オーガタイプ（軸付き）

土圧（泥土圧）式の開発時からの標準装備であり止水性が優れているため、砂質土・粘性土に適している。

高水圧や均等係数が小さく噴発が懸念される場合には必須であるが、土質変化（礫および障害物など）には対応範囲が狭いため、採用に当たっては事前の綿密な土質（障害物）調査が必要である。

## (2) リボンタイプ（軸なし）

もともとは通過粒径が大きいため礫地盤に多く採用されたが、適用土質の範囲がオーガタイプより広いため砂質土・粘性土から礫質土・岩盤まで採用されるようになっていく。オーガタイプに比べると止水性は劣るが、近年の高性能な添加材の開発によって解決できるため幅広い土質に適用できる。

## 2.4 添加材

泥土圧式推進では、取り込んだ土砂を「泥土」へと改質しなければなりません。このために用いられるのが添加材です。

添加材は、土粒子間の摩擦を低減させ、不透水性を付与し塑性流動化するために注入されます。粘土鉱物系（ベントナイト等）、高分子系、界面活性剤系（気泡剤等）などがあり、現地の土の細粒分含有率や透水性に基づいて最適な組み合わせを選択します。注入位置は、カット前面（これが基本）やチャンバ内に添加材を注入して土砂と均一に混練することで、初めて安定した「土圧」を維持することが可能になります。また、土砂搬出の方法により添加材を選定することも重要です。

### (1) 粘土鉱物系

土砂に内部摩擦角の小さい微細粒子分を補足し、土砂で変形・破損を誘発させて流動化を図る

### (2) 高分子系

#### ① 不溶性ポリマ

いわゆる吸水性樹脂で土粒子間を目詰めることによりベアリング効果を高め流動化を図る

#### ② 水溶性ポリマ

- ・セルロース系：土砂中の自由水を追い出して置換し、増粘性により土粒子間を粘結させて内部摩擦角低減し流動化を図る
- ・アクリル系：上記同様だが、経時変化が少ない
- ・アクリル系エマルジョン：土砂中の水分と土粒子との間にフロックを形成し、粘結させて内部摩擦角低減し流動化を図る

### (3) 界面活性剤系

土砂中の自由水を追い出して置換し、気泡のベアリング効果を高め流動化を図る

## 2.5 土砂搬出方式（図-4）

排出された土砂を坑外へ搬送する設備は、推進延長や現場条件に基づき、主に以下の3方式から選定されます。

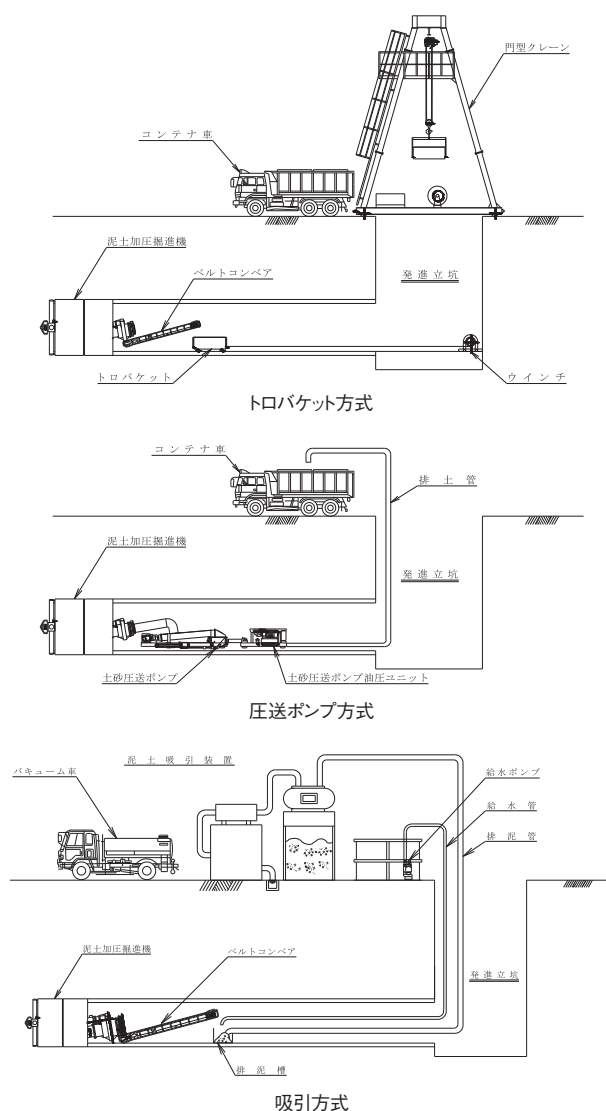


図-4 土砂搬出イメージ

### (1) トロバケット方式

坑内に敷設したレール上を、台車に乗せたバケットで往復搬送する方式です。設備がシンプルで中短距離の施工において最も経済的で、礫質土でよく採用されます。長距離では搬送サイクルが掘進速度のボトルネックとなります。

## (2) 圧送ポンプ方式

スクリュゲート出口から排出された泥土をポンプで、管内配管経由で地上へ圧送します。坑内が省スペース化され、長距離や急曲線施工において高い安全性を発揮します。粘性土・砂質土・礫質土（礫径50mm未満・礫率30%未満）で採用されます（写真-2）。

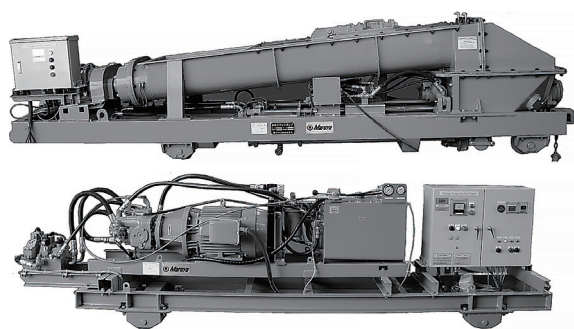


写真-2 圧送ポンプ（丸矢工業株）

## (3) 吸引方式

真空ポンプなどを用い、負圧を利用して土砂を吸引搬送する方式です。小口径管推進や、坑内スペースが極端に制限される場合に有効であり、流動性の高い泥土の扱いに適しています。上記（1）（2）が採用されない場合に適用されることがあります。

## 3 施工上の留意点

土圧式推進工法の安定性は、チャンバ内の泥土が理想的な性状を維持できているかが非常に重要です。

### 3.1 泥土に必要な性質と添加材の役割

掘削土を「泥土」として機能させるには、以下の3要素が不可欠です。

#### (1) 塑性流動性

チャンバ内全体に圧力が均等に伝わり、土圧の変化に柔軟に応答する性質

#### (2) 不透水性（止水性）

地下水の通り道を添加材が塞ぎ、スクリュ内での噴発（ブローアウト）を防ぐ性質

#### (3) 潤滑性

カッタやスクリュ、管体との摩擦を低減し、機械負荷を抑える性質

## 3.2 添加材が切羽の安定を左右する重要な要素

泥土の性状悪化に気が付かず、掘進機のスクリュコンベヤの回転調整やスクリュゲートの開度調整などの機械制御に頼り続けると切羽を不安定にする主因となります。施工中、掘進機オペレータは計器上の土圧計の動向に注視しますが、それ以上に重要なのが「実際にどのような土が出ているか」を確認することです。

### 【重要】掘削土砂の塑性流動性の簡易的な確認方法

現場で泥土の性状を判断する最も確実で簡易的な方法は、排出された土砂を「直接手で握る」ことです。

理想的に塑性流動化された泥土は、「手で強く握った際、泥土が指の間からヌルヌルと滑らかに出ていき、手の中に大きな塊が残らない状態」です。

この状態であれば、チャンバ内でも十分な塑性流動性が確保されており、圧力が均等に切羽へ伝わっていると判断できます。逆に、手の中にパサついた土塊が残るようであれば流動性が不足しており、カッタトルクの上昇や排土閉塞のリスクが高まっている可能性があります。この場合、即座に添加材の注入率や種類を見直す必要があります。また、大口径では互層地盤で層厚が変位していることも多いため、こまめな泥土の性状確認が必要です。

## 4 おわりに

土圧式推進工法は、添加材と機械制御の融合により進化を遂げてきました。ICTやAIによる自動管理が進む中、最終的な成否は現場での泥土性状の的確な判断にあります。地盤に合わせた「泥土のレシピ」を最適化し続けることが安全施工の要です。本稿が、次世代の地下空間開発に携わる皆様の技術的指針となれば幸いです。

### ○お問い合わせ先

機動建設工業株式会社 関東支店工事課  
〒101-0035 東京都千代田区神田紺屋町38  
エスポワールビル6F  
Tel：03-5289-4771 Fax：03-5294-1281

### 【参考文献】

月刊推進技術 Vol.30 No5（2016年5月号）