

解説

泥土圧式推進工法のさらなる発展技術 —アルティミット工法—

ふなばし とおる
船橋 透
機動建設工業(株)
土木本部副本部長



1 はじめに

推進工法の始まりは、鋼管等を土中に押し込む押し管工法と言われています。押し管工法では推進距離に限界があるため、先端部（切羽）の土を人力によって掘削するようになり、また、厚みのあるヒューム管が用いられるようになったことから、先端部に鋼製の刃口を装着する現在の刃口式推進工法が開発されました。刃口式は地下水のない地盤などで多く用いられ、地下水低下工法や薬液注入工法によって切羽の自立が確保できる状態で施工されてきました。

その後、軟弱な地盤や地下水がある崩壊性の高い地盤においては、密閉型機械式が開発され発展してきました。現在供用されている3方式による密閉型推進工法のうち、最も早く開発されたのは、土砂の搬出を流体輸送で行う泥水式でした。

続いて、施工条件の制約などを克服するために、泥水式での地上設備より小さな設備で行える土圧式推進工法が開発され、様々な土質や用途、管径に対応するため、土圧式、泥土圧式と区別し、添加材の開発、土砂圧送設備、バケット排土のコンパクト化（パイプールの普及）などによって、泥土圧式推進工事が採用され進展してきました。

さらに、土圧式掘進機をより簡潔な構造と礫の丸のみを可能とした泥濃式が開発され普及し、現在では中口

径を主体とし約6割強の施工実績となっています。

このような推進工法の歴史のなかで、各々の工法の特徴があり、その利点・欠点を使い分けることで、顧客ニーズに対する環境条件にマッチした対応が可能となり、推進工法が全国に普及発展し現在の推進技術が確立されました。

シールド工法ではほとんどが泥土圧式での採用となっているのとは相反し、推進工法での土圧式は他工法と比較し、採用・施工実績の割合が少なくなったとはいえ、大口径管（超大口径管）推進の施工では主流を明け渡していない現状などに鑑み、今回は泥土圧式推進工法にスポットライトを当て、さらなる技術開発や対応などを行っている「アルティミット工法泥土圧式」を紹介します。

2 土圧式・泥土圧式推進工法の特徴

土圧式と泥土圧式の違いは、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の有無によって区分されますが、掘削対象土質は均一とは限らず、土質変化に対応した加泥材を注入することで施工ができる泥土圧式が主流となっています。

2.1 土圧式の切羽安定

掘進機のカッタチャンバ内およびスクリュコンベヤ内を泥土で満たし、元押ジャッキ等の推進力により泥土圧を発生させ、この泥土圧を切羽の土圧および地下水圧に

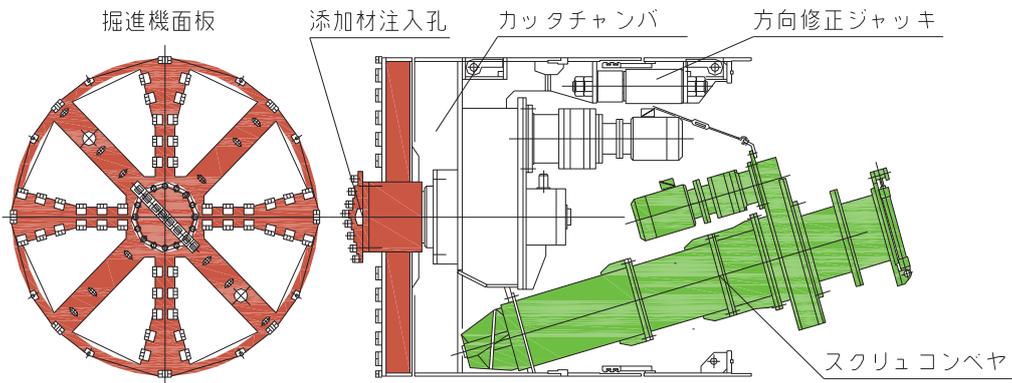


図-1 土圧式・泥土圧式掘進機（一般図）

見合う圧力に保持することにより切羽を安定させます。掘削土はカッタの回転と同時に水や添加材を加え、攪拌混練りして塑性流動化され、スクリュコンベヤの回転数を調整することでチャンパ内の圧力を保持しながら排土します（図-1）。

2.2 連続排土方法の優位性

(1) 土砂圧送による連続排土は泥水式、泥濃式の日進量に引けを取らない

密閉型推進工法は、泥水式、泥土圧式、泥濃式に区分されます。これらの長所・短所については前号（4月号）の総論等に譲りますが、その中で、最も採用基準としてコストパフォーマンスが高い工法が採用されているのが実情です。しかし、重要なことは推進工事が行われる環境では都市部が多く、重要埋設物に近接する場合等、一歩間違えれば不測の事態を招くこととなって

しまいます。従って、安全安心を供給する推進工法、さらには環境面（SDGs）に配慮した工法であることが求められます。そのためには泥土圧式推進工法のような切羽安定を確実にを行い、安定した連続排土が行える土砂圧送方式は、発注者や地域住民に信頼のおける方法であるといえます。3方式の一般的な比較を表-1に示します。

(2) 切羽安定を左右するポイントは添加材

泥土圧式推進工法で切羽の安定や土砂の圧送性（ポンパビリティ）に重要な役割を果たすのは添加材です。掘削土砂は攪拌翼によって加泥材と混練し、塑性流動化された泥土はスクリュコンベヤの回転で切羽の安定を確保しつつ排土されます。また、土砂圧送においては、排出する土砂の性状把握が可否の支配的な要素となります。そのためには、土質の粘土・シルト含有量の把

表-1 3方式の一般的比較

密閉型推進工法	泥水式	土圧（泥土圧）式	泥濃式
地上設備	大	小	中
切羽管理方法	泥水還流	スクリュコンベヤ回転調整	ピンチ弁開閉
切羽安定度	○	◎	△
排土方式	流体輸送	土砂圧送またはバケット排土	吸引排土
操作性	掘進中切羽を安定させるためには還流ポンプ回転を調整し一定圧に保持し、土質の変化ではカッタトルクを監視しながら推進スピードを調整しながら推進する	掘進中の切羽安定はスクリュコンベヤの回転を調整しながらカッタトルクを監視し推進スピードを調整しながら推進させる	掘進中高濃度泥水を充填し推進することで切羽圧を上げ、上限圧になればピンチ弁を開放しチャンパ内圧力を下げ、加減圧になれば閉めるといった間欠に行いながら推進スピードを調整する
土量管理	流体輸送のため泥水に溶けたシルト粘土分の土量は一次二次処理での管理は困難なため、密度計を用いた乾砂流量システム等を用いることで正確な土量管理が可能であるが高価となる	掘削添加材注入量と掘進土量を合わせた量を測定することで比較的管理しやすい	土圧式同様高濃度泥水量と掘削土量を測定することで比較的管理しやすい



①ポンプ圧送土砂 6.0～9.0cm
塑性流動性を持ち、お椀型の性状が好ましい

②スリ排出土砂 3.0～6.0cm
ある程度の自立性を保った状態が好ましい

写真-1 加泥材現場配合のミニスランプ試験（参考）



写真-2 排土状況（地上土砂タンク）

握が必要であり、これによって添加材の種類、配合、注入量が決定されます。また、大口徑では均一な土質とは限らず、互層地盤でなおかつ層厚が変位していることが多いため、添加材の選定にはとても苦労しているのが実情です。さらに、対象圧送土質に不向きな礫、玉石、礫率の含有量が多ければ土砂圧送ができなくなる場合もあるため、土質調査のピッチを多くの確に判断することが重要になります（写真-1、2、表-2）。

(3) アルティミット工法のさらなる発展技術

アルティミット工法の特徴は、特殊拡幅リングを装備し、周面抵抗低力の低減や管内作業の自動化システムを付加することで超長距離推進に対応した最適な施工ができることです。

また、急曲線にも対応し、多段方向制御方式の掘進機を用い、ジャイロコンパスの搭載によってリアルタイムに掘進機の姿勢を把握することで曲線精度が確保できま

表-2 模擬試験結果（参考）

注入率	20%	備考
SP-A IIP 5kg/m ³	 ミニスランプ値：7.5cm	握るとやや硬い印象があり、水浮が若干見られた。フリージング袋に入ると3時間程度で締め固まる印象
TGスライムⅢ 5kg/m ³	 ミニスランプ値：7.5cm	ポンプ圧送には理想的な触感。水浮も見られず、フリージング袋に入ると3時間後も塑性流動性は保っていた
TGスライムⅢ 4kg/m ³	 ミニスランプ値：7.5cm	握った触感は柔らかいが、水浮が若干見られた。高分子によるべたつきは少なくなっていた
SP-A IIP：5kg/m ³ + ベントナイト：3kg/m ³	 ミニスランプ値：7.5cm	握った触感はやや硬い印象であったが、ミニスランプ値ではポンプ圧送に適しているといえた。ミニスランプ試験機のモールド内側に土砂が張り付くような粘着性があった
環状掘削土	 ミニスランプ値：7.5cm	ほぼ液状であり、握ることはできない状態。ペーンせん断試験においても測定が難しい状況

す。また、推進管列の追随性確保と管端部の破損防止にはセンプラカーブシステムを採用しており、目地開口保持に特別な作業が不要となり施工速度が向上します。

その他、中央集中管理システムによる掘進機の遠隔操作をリアルタイム計測システム（ジャイロコンパスや自動測量システムによる計測装置）による掘進機位置の正確な測定と把握、また、ULIS（アルティミット滑材注入シ

ステム) による管内作業の大幅な軽減などの特徴を有しています。

このような特徴を組み合わせ、超長距離推進・急曲線施工を可能としています。さらなる開発を行いながら以下のようなシステムを開発しています。

3 アルティミット工法のシステム

- i 防爆システム
- ii ステーションシステム
- iii 外筒残置方式
- iv 海底推進到達
- v シールド内分岐推進
- vi 超大口径管推進
- vii 円弧推進
- viii 大深度、高水圧下推進
- ix 支障物切削

このような技術に対応していますが、その中で土圧式に優れたシステムをピックアップし紹介します。

(1) 防爆システム対応

防爆システムを用いた泥土圧式推進工法は、掘削および排土方法を坑内の空気と遮断・密封して圧力等の制御を行うことで、可燃性ガスの噴出を防止できます。掘進機においては、電気機器の防爆仕様に改造し、局部換気設備、エアカーテンにより掘進機内の防爆と非防爆に分断し掘進を可能にします。また、全体の換気ではターボファンを使用し風量、風速確保により安全な作業を可能としています(写真-3~7)。



写真-5 エアカーテン設備



写真-3 自動ガス検知



写真-6 自動土砂圧送システム

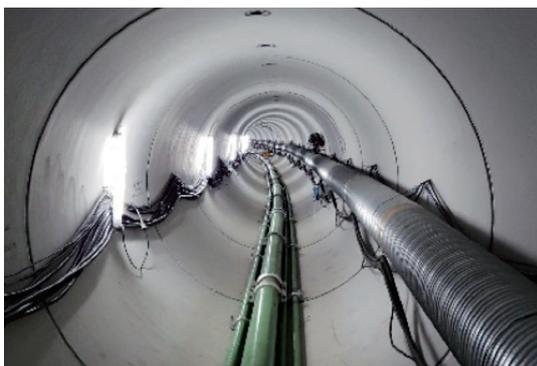


写真-4 管内設備 (圧送排土管、風管等)



写真-7 掘進機カッターモータ防爆仕様

これに加え、推進管目地からの出水リスクの排除として、TSシール（弾性特殊ゴム）を目地に装備することで、外部からの水や可性ガスや溶存された地下水の浸入を防ぐことが可能となります（写真-8）。

(2) 超大口径管推進工法での実績

呼び径3000を超える超大口径管推進工事においては、泥水式でのデメリットとされる処理設備の過大を避けると同時に、掘削土砂の取り込み過ぎから生じる地盤沈下防止対策として、土圧式ではチャンバ内を塑性流動化した泥土が常に充満された状態が大断面施工における切羽の安定にとって有利であり、一定の圧力保持を確保することで切羽上部のゆるみから生じる路面沈下を防止できることが最大の利点となります（写真-9、10）。

(3) 円弧推進の取組み

運河や河川横断での大口径電力洞道管路の築造では、土圧式や泥水式の円弧推進によってさや管を推進した後、ダクトイル鑄鉄管を挿入するといった推進工事を行っています。一般的な河川等の横断施工は、計画河床高から一定の深さに発進、到達立坑を築造し、水平にさや管を推進しますが、推進路線を円弧にすることで起点終点の立坑を浅く築造することができ、土留材、底盤改良、工期短縮等によりトータルコストの縮減が可能となります（図-2、写真-11）。

4 おわりに

上記で紹介した様々な取り組み、技術開発の多くは、過去の失敗経験から学んできたことによるものです。推



写真-8 TSシール



写真-9 超大口径管推進工法用掘進機



写真-10 掘進状況

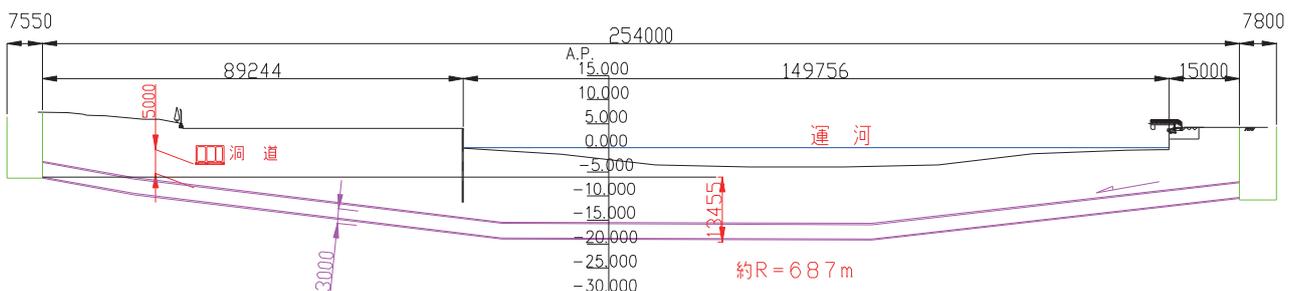


図-2 弧状推進施工断面図



写真-11 管内状況（呼び径3000）

進工事が今までの歴史を刻んでこられたのは、先人たちの努力の賜物です。今後、省力化と施工環境の改善を促進し、さらなる信頼性の高い工法の確立を目指し、ICT等を取り入れ、自動化システムを構築していくことが推進工法の将来に繋がっていくと思います。

また、現在急務とされている人材確保や技術の継承を行う前提としてのDXの推進も必要不可欠です。

泥土圧式推進工法は他の工法に比べ、切羽の圧力、排土等、操作性を含めた技術的上からの総合管理は難

しいと思いますが、同工法が近接構造物、第三者、インフラに影響を与えることが少ない、切羽の管理では最も安心できる工法であることを認識していただければ幸いです。

最後に、アルティミット工法は、これまで紹介したシステムを十分に活用し組み合わせ、今後も安全安心な工法として提供していきます。

○お問い合わせ先

アルティミット工法協会

<https://www.ultimate-method.jp>

[東京事務局]

〒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 : 03-5289-4774 Fax : 03-5294-1281

[大阪事務局]

〒553-0003 大阪市福島区福島4-6-31（機動ビル）

Tel : 06-6458-7087 Fax : 06-6454-0274