

解説

# 大口径管推進工法の技術進化



ふなばし とおる  
**船橋 透**  
 機動建設工業(株)  
 関東支店長  
 (本誌編集委員)

## 1 はじめに

昭和40年以降、下水道整備とともに推進技術は成長し発展してきました。現在では、その技術がより進化し、さまざまな顧客ニーズに対応しています。この推進技術を継承し、進化していくためには、安全な施工と確かな品質を提供し、顧客ニーズに応えていくことです。そこで、安全・安心・信頼のもと進化し続ける大口径管（呼び径800～3000）推進工法を紹介し、より多くの人たちに

かかわりを持ってもらいたいと思います。

## 2 大口径管推進工法とは

大口径管推進工法は、開放型、密閉型に分別されます。開放型では地盤が自立し、地下水がない安定した土質を人力で掘削する刃口式推進工法と、切羽を密閉し機械で掘進するものへと分類されます。また、密閉型では、泥水式、土圧式、泥濃式があり、各々工法の特徴を活かすため、施工や土質条件、管径、経済性から選定され設計採用されます（図-1）。

### 2.1 泥水式推進工法

泥水式は、高水圧や地下水圧の変化が激しい地盤条件でも、泥水圧によって切羽の圧力制御を確実にできるため適応性が高く、掘削と土砂が循環回路としてシステム化されており、集中管理が行えるため施工の信頼性の向上が図れます。中央管理として、掘進機、流体設備の遠隔監視（写真-1、2）。掘削土砂管理システムの

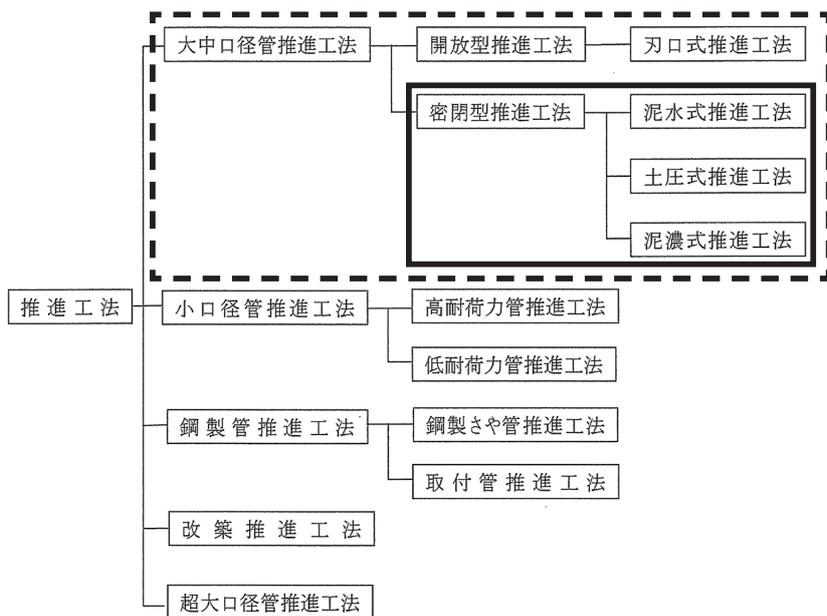


図-1 推進工法の分類（大口径管推進工法）

導入で、土砂の取込み過ぎをリアルタイムに管理することもします（写真-3）。

## 2.2 土圧(泥土圧)式推進工法

土圧(泥土圧)式は、掘削土砂と添加材で攪拌混練りした塑性流動化の泥土をスクリュコンベヤの回転数によって圧力を保持し、連続的に排土された残土は、トロバケットや、圧送ポンプ(写真-4)あるいは吸引装置にて坑外に出します。泥水式より小さい作業基地で掘進が可能で、地下水圧の高い地層に対応できます。



写真-1 遠隔操作

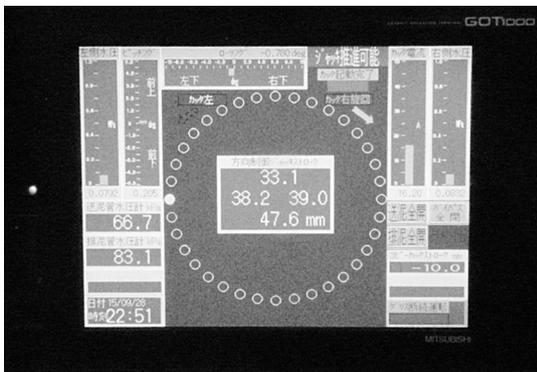


写真-2 掘進機操作盤

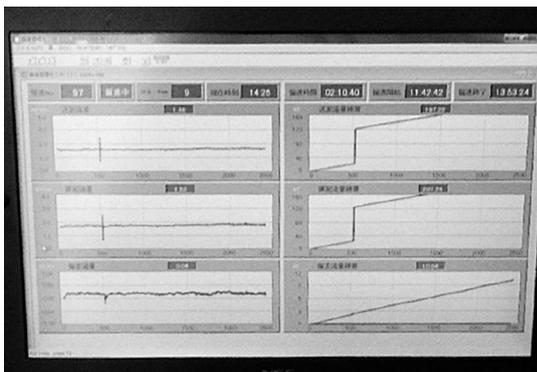


写真-3 掘削土量管理

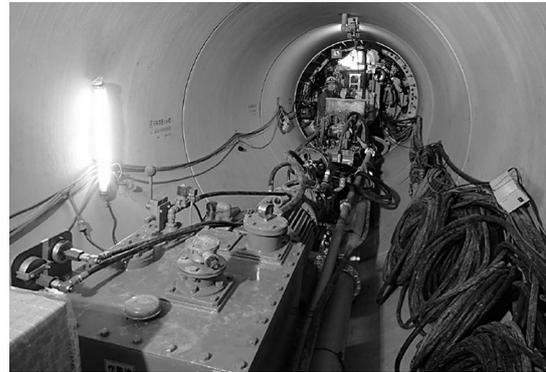


写真-4 土砂圧送ポンプ

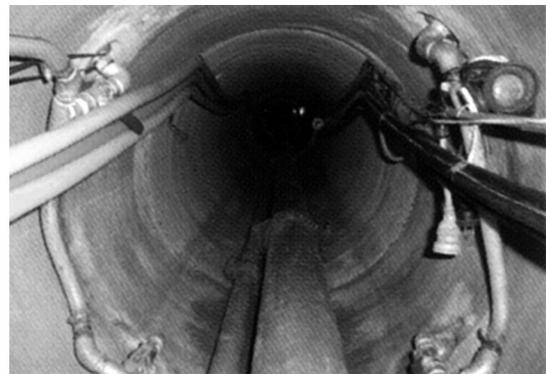


写真-5 管内設備

(出典: エスエスモール工法カタログ(ジオロード協会))

## 2.3 泥濃式推進工法

泥濃式は、掘削土砂と高濃度泥水で攪拌混合した泥土を、排泥バルブを開閉することで間欠的に排土し、吸引装置にて坑外へ搬送します。他工法と比較してオーバカットを多くするため、摩擦力の低減から長距離、曲線施工に適用し、掘進機構造がシンプルです。また、排土槽での分級が人力の場合(写真-5)や、吸引監視(有人操作)が必要です。吸引装置の制約によっては、超長距離による高濃度泥水の増大や呼び径2200までとされています。

## 3 様々な推進技術

推進工法は、近年数多く施工している大断面シールド工法等巨大な掘削断面施工を綿密な計画のもと行われている中で、今では、シールドの工法に追いつけといったように、長距離がより超長距離の施工、曲線が多重曲線・急曲線・縦断曲線の施工や発注者、コンサルタント、施工者、材料、管材メーカーが一体となって計画設

計されるようになってきています。その経緯には、地下空間の入り組んだインフラ設備が輻輳する中で、新たに管路を埋設する空間の確保、設備や既設構造物からの発進や到達等や都市開発における熱供給管路や発電所内の取水放水管路等も最新の推進技術の発展と進化を形成しています。そこで、いくつかの最新の技術を紹介します。

### 3.1 防爆対策について

地中には、場所によって可燃性ガスが存在します。爆発、燃焼事故の原因となる可燃性ガスは主にメタンガス (CH<sub>4</sub>) です。その性状は無色無味無臭で、比重は0.555 (0°C、1気圧の空気を1とした場合) で空気より軽いため高いところに滞留します。また、水に溶けた状態で存在したりします。地下空間での施工では、密閉式機械を使用するにあたって防爆対策を講じなければなりません。また、換気においては送気排気の検討と自動ガス検知器によるリアルタイムな計測を行います。そこで万が一可燃性ガスが流入し基準を超えた場合は自動遮断器が作動し電源供給を遮断することで爆発引火を防止する対策を講じます。防爆と非防爆の境はエアカーテン構造とし、防爆領域での機械器具は防爆仕様にしなければなりません (写真-6~10)。

### 3.2 障害物撤去

あらかじめ地中に障害物が確認されている場合は、切削掘進機を用いて掘進する工法、ジェットにより切削掘進する工法があり、直接隔壁内から撤去する場合は、地下水圧に対抗する地盤改良や圧気などを併用し確実に撤去する工法があり、各々施工条件等安全で確実な工法を選択することが重要です。



写真-7 ブロア (排気用)



写真-8 送気ブロア (切羽)



写真-9 ガス検知器 (切羽)

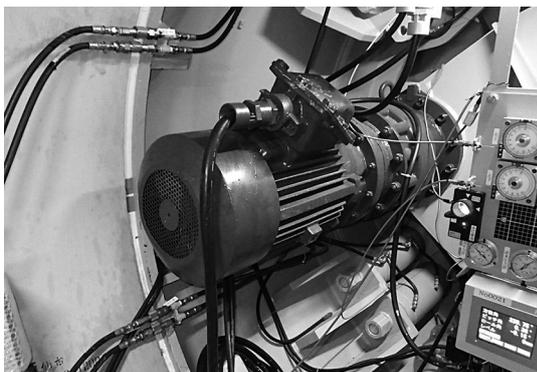


写真-6 カッターモータ (防爆)

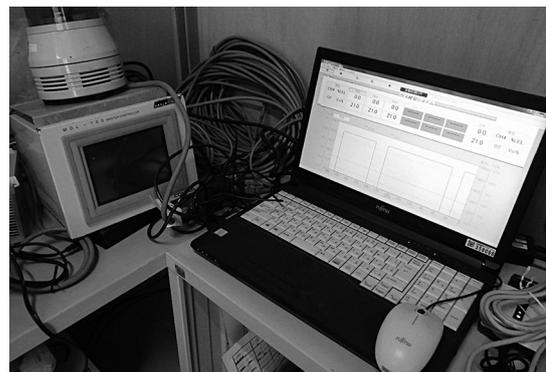


写真-10 ガス検知器画面

また、その障害物によっては、通常の地盤とは異なるため、切削ビットの摩耗、耐久性等を検討します。

(※ビット摩耗計算や耐久性は各協会や掘進機メーカーによって異なるので問い合わせが必要です)

### 3.3 既設構造物からの発進や到達の需要拡大

都市部において、輻輳する地下空間での新設管路の需要はますます制約を受け安易に施工できません。場合によっては、雨水対策においては発進を既設構造物から行う計画や施設管路接合（シールド等）、既設構造物に到達させることも多々大口径管推進工法で行われています。また、人道を目的とした推進工事、パイプライン、発電所での施工も行われています。これらは公にできない場合があります具体的な紹介ができないのが残念ですが、様々な場所で活躍しています。

### 3.4 発進、到達土留めの直接切削と高水圧対応

推進工事で行われている一般的な立坑での土留めは、ライナープレートやシートパイル鋼製ケーシング等ですが、近年、大深度（大土被り）での施工に伴い地中連続壁（SMW）、アーバンリング、ケーソン等からの発進、到達も対応しています。これらは、大深度（大土被り）で高水圧下での施工になるため、発進、到達鏡部での地盤改良によっては鏡切作業と掘進機の挿入、撤去回収が難しく坑口工の改良、改造が重要となります。このところ、切削可能な土留めを採用する場合もあり、NOMSTやFFUが多く採用され、SMWの芯材やシールドセグメント、アーバンリングの鏡部に使用されています。ケーソンでは、RC部からNOMSTに変え切削可能としています。

このような切削可能な土留めは一般にシールド工法に採用されていたのが、高水圧施工の推進工事にも採用されてきていますが、高水圧下での推進では、掘進機を安全かつ確実に回収できるかを検討し、場合によっては残置方式を採用しトラブルのリスクを回避することが最も必要不可欠な対応となります。

### 3.5 周辺技術の進化

推進工事が前記のように進化発展してきたのには、周辺技術が大きく貢献しています。その周辺技術を紹介します。

#### (1) 推進力低減システム

(自動滑材、装置、推進管摩擦低減剤塗布等)

長距離推進工事においてのリスクはいかに低推進力で到達させるかです。その対策は、注入システムや装置のさらなる開発と使用する材料の推進管は地山と接するコンクリートの摩擦低減としてクリアランスに充填する滑材はもとより、コンクリートに直接摩擦低減材料を塗布し推進力を低減する材料の開発も進化していくことでしょう。

#### (2) 材料の開発（滑材、加泥材、作泥材、裏込め材）

推進工にとって最も重要なのは、使用する材料です。滑材では、摩擦低減効果を有した固結タイプや一液性ポリマは今や一般的になっています。近年では、地下水に含まれる鉱物や塩化物等によっては摩擦低減効果が損なわれたり、希釈されて効果が低減を防止する滑材も開発されているので、現場条件に応じた対応が必要です。また、無害な材料も環境保全に対し大切な条件になります。

#### (3) 自動測量システム、水レベル計、ジャイロコンパス

推進工事で最も重要なのは精度管理です。長距離、急曲線施工においては、掘進機の位置、方向を把握していなければ方向修正をすることができません。ジャイロコンパスは掘進機先端部に搭載し、リアルタイムに方位角を検知し、所定の曲線線形どおりに曲がっているかを判断します。最近では光ファイバジャイロのため、初期設置時や制定時間が以前より短縮されていることと、運搬等の扱いで傾き角度の制約と振動を与えないといった慎重な扱いがなくなったことです。水レベル計も垂直方向の管理としてリアルタイムな検知ができるため中口径で使用することもあります。これらと併用し、推進管一本ごとが一般的ですが、自動測量システムによって正確な測量を行い精度誤差を求め、次の推進の方向制御管理をしていきます。現在は、新たな測量機を採用し、新システムの開発を行っているようです（写真-11～14）。

#### (4) 推進力伝達材

曲線の施工においては、単面面に推進力伝達材を使用し、推進力によって伝達材が圧縮されて生じる圧縮応力度を推進管の軸方向圧縮応力度以下となるように計画配置しなければなりません。そのため、計画時は伝達材の検討をしますが、推進時でも実施工に即しているかシミュレーションすることが重要です。

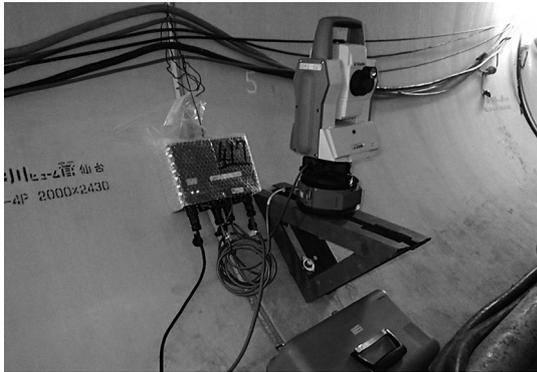


写真-11 自動測量機

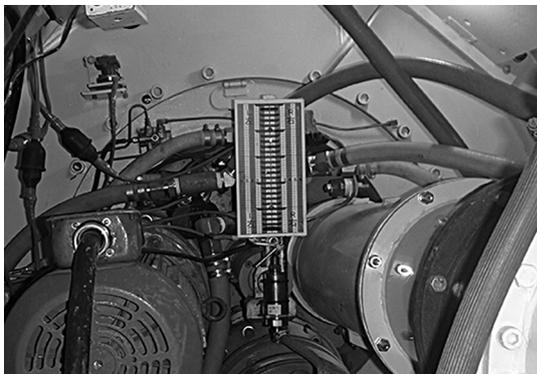


写真-12 水レベル計機内センサ

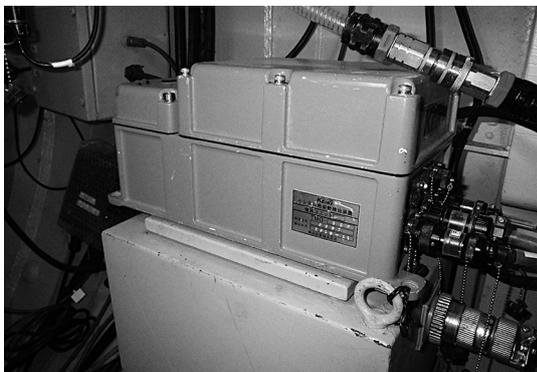


写真-13 光ファイバジャイロ



写真-14 光ファイバジャイロ (モニター)

#### (5) その他

プレキャスト支圧壁（バックロック）は、支圧壁を所定の推進力に対抗するためにコンクリート壁を打設し元押ジャッキの反力として用いてきましたが、そのジャッキに対抗する強固なものとして代用しています。今までは推進完了時にコンクリートをハツリ撤去していましたが、プレキャスト製を用いることで産業廃棄物の削減とハツリ作業を削減し、環境に配慮した対応策となっています。また、推進管径にあわせて大きさと数を組み合わせることで現場に即した対応が可能となります。

その他として、泥水式等防音ハウスや防音壁を採用し、現場に即した大きさ等で設計され、使用する一次処理機（振動篩）では、エアダンパ構造とし、振動騒音を抑える工夫にも対応しています。

## 4 おわりに

最後に、いずれにしても、基本（基礎）から最新技術が生まれています。

推進工事に限らず、安全優先は当然です。少子化や技術の継承が重要視される中、マニュアルは企業として作成し、リスクアセスメント作業手順書はその都度作成し現場で周知会を行っています。「十現場十色」です。

安全・安心して工事を進行させ、信頼獲得することです。

これからは、過当競争ではなく信頼性と確実性を備えたものが生き残り、少子高齢化が拍車をかけ、推進技術の発展進化を減速してしまいます。今大切なことは、宇宙に向けての開発と同様に明るい希望に向かっていくことが重要です。働き方改革から有給休暇を取得し、週休二日制（4週8閉所）の実現に向けて、推進力低減は必須です。そのひとつとして大中口径管推進工法では、泥水・土圧・泥濃の長所短所を活かし、工法にとられない最良の管理方法とそれに付随する周辺技術の発展と、さらなる自動化・無人化等が進んでいくことでしょう。