

解説 進化した推進技術

大中口径管推進工の最先端



なかの まさあき
中野 正明

機動建設工業(株)
取締役専務執行役員
(本誌編集委員)

昨年の本誌の当月号において技術革新が顕著な推進工法の中でも、特に近年の開発実績が著しい大中口径管推進工の最先端技術を紹介させていただきましたが、あれから1年が経過して新しく様々な施工技術が提案・施工されています。

大中口径管推進工法は日本国内での施工実績は60年を優に超えて円熟期に入った感がありますが、社会のニーズはますます複雑化して従前の実績にあぐらをかいているような状況ではありません。推進工法は困難な土質条件や複雑化する制約条件に対して新しい技術を開発・提案・施工することによって着実に進歩を遂げてきています。しかし、その内容はここ数年で少し変化してきていることも事実で、昨年ご紹介した長距離施工・曲線施工・大深度施工・小土被り施工・急勾配施工などの技術の進歩はもちろん着実に行なわれていますが、無闇に「ハード」を競って1スパンの推進距離や最小曲線半径のみを追い求める段階は過ぎ去ったような印象があります。最近では発注者や社会環境の要望を受けて、困難な制約条件を克服して必要な管きよを必要な場所に必要な形状で埋

設する「ソフト」技術が提案されています。そのような施工技術として最近注目されるのは(1)機械式ボックスカルバート推進工(2)既設構造物直接到達工(3)海底推進・回収工(4)複合推進(推進+シールド)などの施工技術ですが、それぞれ問題点を着実に解決して施工を可能にしています。ここでは問題点やその解決手段と先端の施工事例などを紹介して、今後の設計や施工の参考にしていただきたいと思います。

1 機械式ボックスカルバート推進工

▶掘進機を使用して函渠を正確に推進

ボックスカルバート推進工は以前から数多く施工されてきましたが、そのほとんどは切羽開放型の刃口推進工法でした。最近では幅広い土質に対応して長距離・曲線施工を効率よく行うために機械式密閉型のボックス推進が施工されるようになりました。

1.1 掘進機

【切削機構(カタ)】

ボックス型の掘進機で問題になることは、カタの回転は基本的には円周であるため隅角部などに未切削部が残

ることです。そのためボックス型の掘進機には未切削部を少なくする工夫がなされています。例えば、補助カタ方式・運動カタ方式・自転回転方式などがあり、函渠の形状や土質条件などによって選定されています(写真1~3)。

【推進方式】

機械式ボックスカルバート推進工の推進方式は $\square 2 \times 2\text{m}$ 以上の比較的大型の函渠の場合は泥土圧工法が主流であり、パイプルーフなどに使用される比較的小型の函渠の場合はその他の泥濃工法やオーガ工法も用いられます。

1.2 函体

【コンクリート製】

コンクリート製函渠の構造としてはRCタイプとPCタイプがあり、一体で運搬できない寸法の場合は分割運搬・組立方式となり、その場合の接合はPC鋼棒の緊張が一般的です。特長としては推進した函渠がそのまま構造物として使用できるため工期が短縮できるとともに工場製作であるため高品質のコンクリート構造物になります(写真4)。

【鋼製】

鋼製函渠はパイプルーフなどの小型

の場合は一体物で製作し、アンダーパスなどに用いられる大型の場合は分割のセグメント方式が一般的です。鋼製函渠の特長としてはコンクリート製と比較して軽量であるため自重に起因する推進抵抗が小さく長距離施工に適しています。また、隣接する函渠との連結のためのジャンクションを取付けることでパイプーフや先行支保工としての用途に適します（写真-5）。

1.3 長距離施工

ボックス推進においても機械式密閉型の推進工法を採用することによって長距離施工が可能になっています。推進抵抗の低減方法は基本的には通常の推進工と同じように滑材の注入ですが、ボックス推進の場合は上面が平面であるため上載土がアーチ状に保持されずに函渠上面に全土荷重がかかり推進抵抗の増大を招くことがあります。

そのため特に函渠の上面と下面の摩擦抵抗の減少が重要で、滑材注入の工夫やディスリップカーテン工法などの物理的な縁切り対策が行なわれています（写真-6）。

1.4 曲線施工

ボックス推進工はそのほとんどが直線施工でしたが、最近では曲線施工も頻繁に行なわれるようになってきました。コンクリート製の函渠の場合はその継手部をカラー形状にして推進力伝達材を挿入することによって、掘進機が切削した曲線トンネルへの追従を図ります。鋼製函渠の場合は継手が溶接やボルト接合であるため曲線は全線の円弧形状として、函渠自体に曲線に応じたテーパを設けるのが一般的です。特異な事例としては平面・銃弾ともに円弧形状の三次元の曲線を描く鋼製ボックス推進工も行なわれており、この場合は平面・縦断ともに台形の函渠が使用されています（写真-7）。

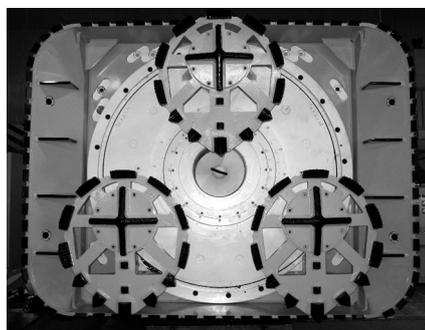


写真-1 密閉型ボックス掘進機前面



写真-2 ハーモニカ掘進機械

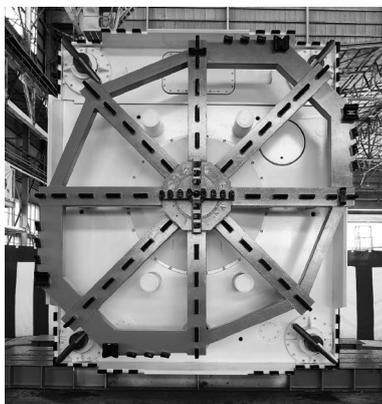


写真-3 矩形ハーモニカ工法掘削機 (揺動型泥土圧式)

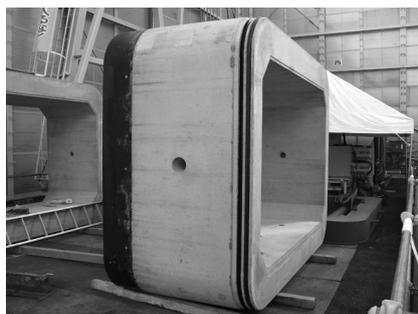


写真-4 ボックスカルパート函体



写真-5 鋼殻組立状況



写真-6 カーテン鋼板の取付状況



写真-7 推進中の函内状況 (曲線部)

2 既設構造物直到達工

▶既設構造物に直到達して掘進機を回収

マンホールや幹線などへの接続する場合はその直前に到達立坑を築造して掘進機を回収するのが主流ですが、到達立坑の築造が不可能な場合は到達時点で押し止めて内蔵の駆動部は撤去して外殻は残置する方法を取ります。そ

の場合掘進機は全損になって工事費が高騰し、特に短距離の推進路線の場合などは経済性に疑問があります。

そのため最近では既設構造物に直接到達する場合でも掘進機を回収するいろいろな技術が開発されて実施されています。

2.1 分割回収

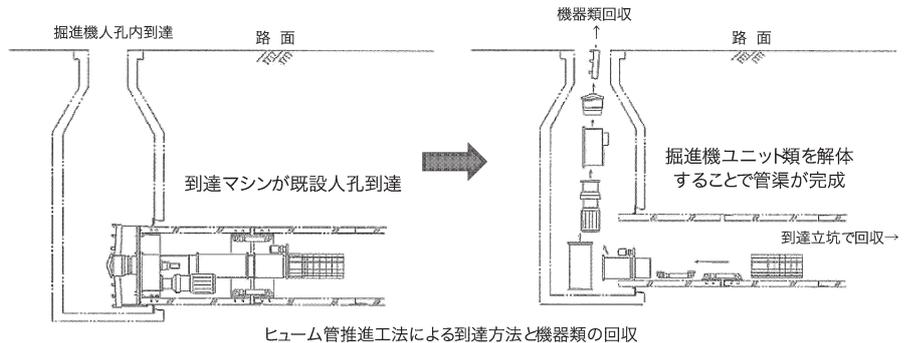
既設構造物への直接到達で最も一般的な回収方法は分割回収で、管路と同程度の外殻(鋼コンクリート合成管)を残置して面板と駆動部のみを分割回収する方法と外殻も分割回収しながら推進管と置換える方法があります。前者は到達時点で押し止めになるため出水などの危険を伴う空押しが少ないのが特長で、後者は空押しは長くなりますが管路が全て同じ品質の推進管になるのが特長です(図-1、2)。

2.2 引戻し回収

この工法の掘進機は、掘進機本体は外殻と内殻の二重構造あるいは中殻を加えた三重構造で、カッタ面板は縮径機能を備えるか分割構造になっています。既設構造物に到達すればカッタ面板の伸縮スポークを格納して縮径したり分割したりして推進管内径より小さくし、同じく推進管内径より小さい径の内殻(掘進機本体)とともに発進立坑まで引き戻して一体回収します。内殻回収後に掘進機外殻部はコンクリートで二次覆工して管路に仕上げます(図-3、4、写真-8)。

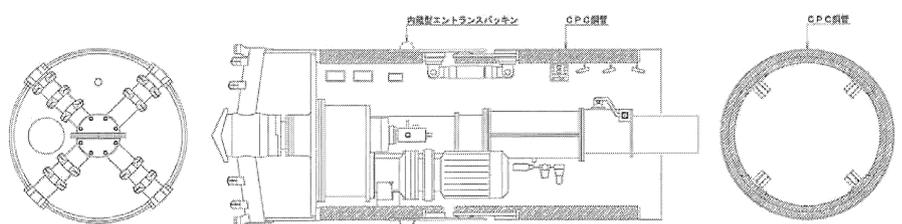


写真-8 やどかり君改修状況



ヒューム管推進工法による到達方法と機器類の回収

図-1 ヒューム管推進工法



※ヒューム管推進工法掘進機外殻は工場製品であり常に高い品質を保持しています。
※ヒューム管推進工法掘進機外殻は推進管と同様の工場検査を行っています。

図-2 推進機概略図

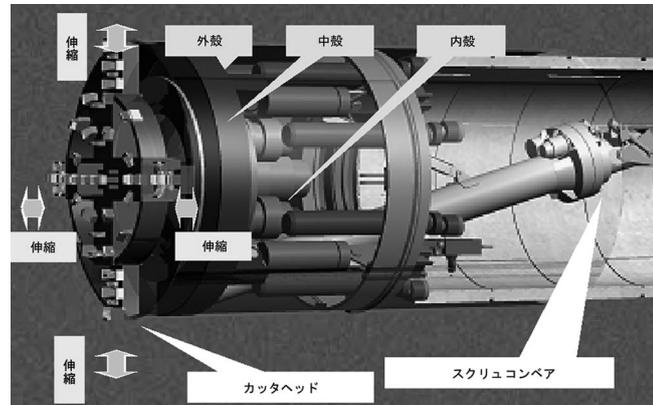


図-3 基本構造概要(泥土圧掘進機の例)

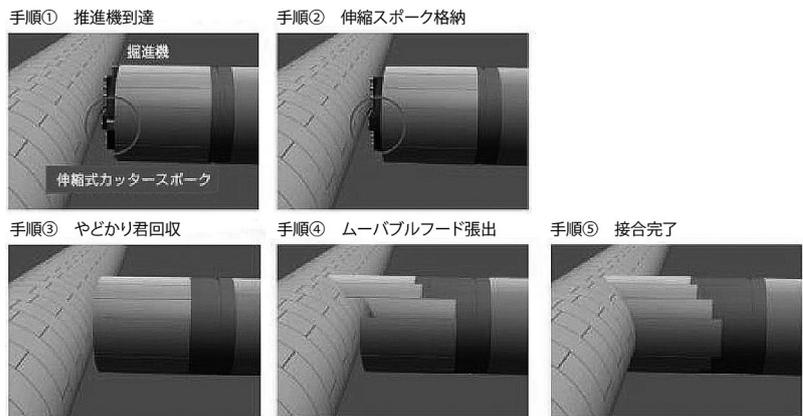


図-4 側面接合の手順(新設推進)

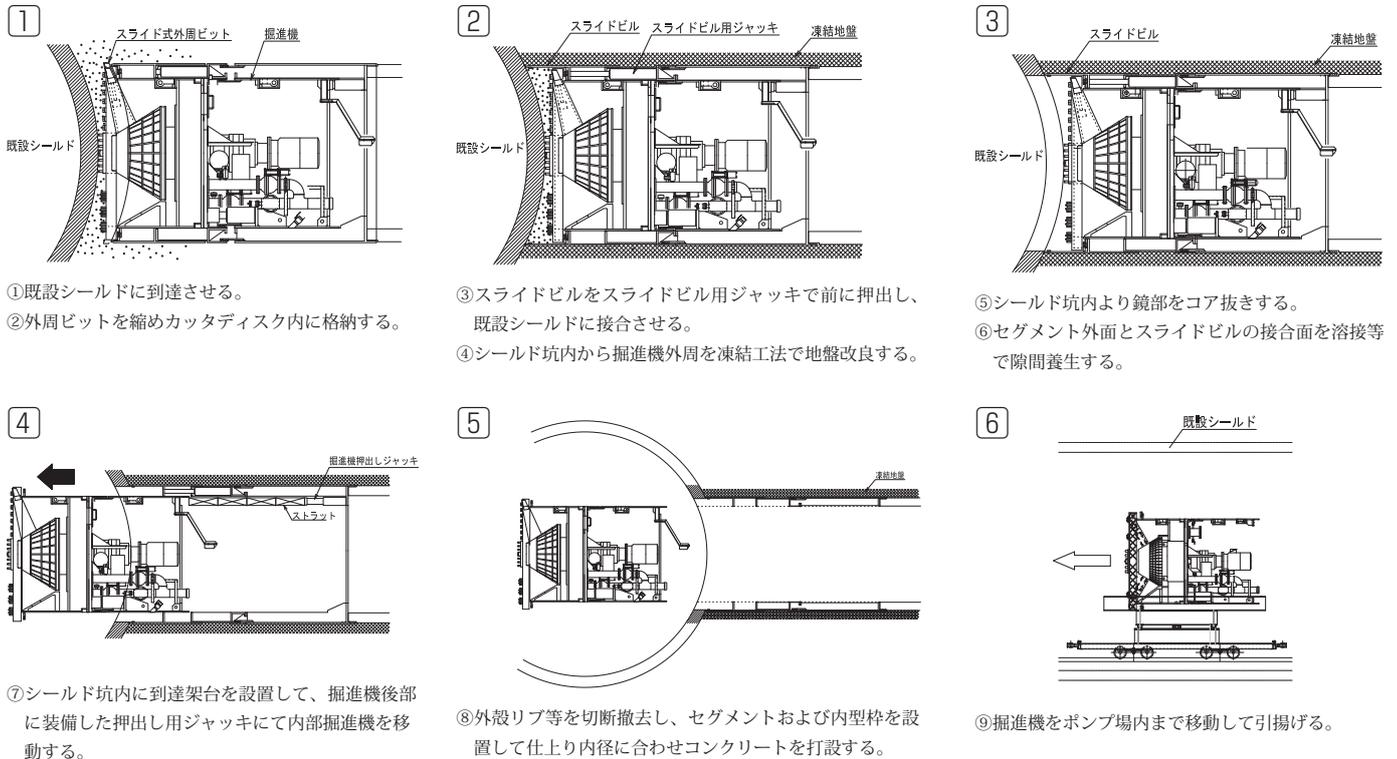


図-5 既設シールド接合と掘進機改修手順

2.3 押し出し回収

この工法は大深度の既設構造物への到達に適応される工法で、掘進機本体を既設シールド幹線などの到達内へ押し出して一体回収するものです。掘進機は本体の内殻と外殻の二重構造になっているのが一般的です。掘進機が到達すれば押し止めて、高圧噴射攪拌杭や凍結工法などで到達部を完全に地盤改良し、内殻（本体）のみを既設シールド内に押し出して立坑やマンホールなどから一体回収します（図-5）。

3 海底推進・到達工

▶海中から掘進機を回収

海底に管路を埋設して到達部が海中や海底にならなければならない場合、掘進機を回収する方策として海底推進があります。淡水化プラントや養殖漁業のための海洋水の取水管、火力発電所などの取水管・放水管、雨水排水の

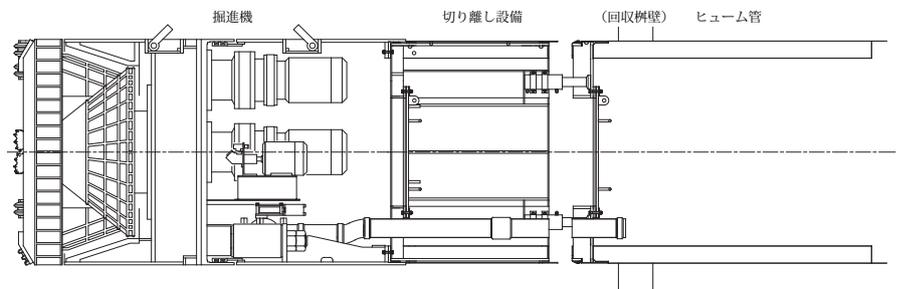


図-6 掘進機水中回収システム

海中への放流渠などに適用される工法です。

3.1 掘進機（回収筒）

掘進機は通常の掘進機を使用しますが海中からの回収のために掘進機後方に回収筒を取付けて、配管・配線などは撤去して2箇所の隔壁で推進管内と掘進機を遮断します。その後回収筒を切り離して掘進機は前方の隔壁が付いた状態で回収し、推進管の前面にも後方の隔壁が残ります。切り離し方法と

しては、潜水夫によるガス切断と内蔵したジャッキの伸長による方法がありますが、海水汚染の軽減や水中作業の削減のためにはジャッキによる機械的に切り離し方法が優位です（図-6、写真-9～11）。

3.2 滑材注入

海底推進における滑材注入は通常の滑材注入と基本的には同じですが、海水の影響や海中への流出などに配慮しなければなりません。そのため耐塩性



写真-9 掘進機回収状況



写真-10 第2隔壁 (水中回収システム)
(このドアの向こう側は東シナ海)



写真-11 掘進機水中到達状況



写真-12 掘進機回収状況

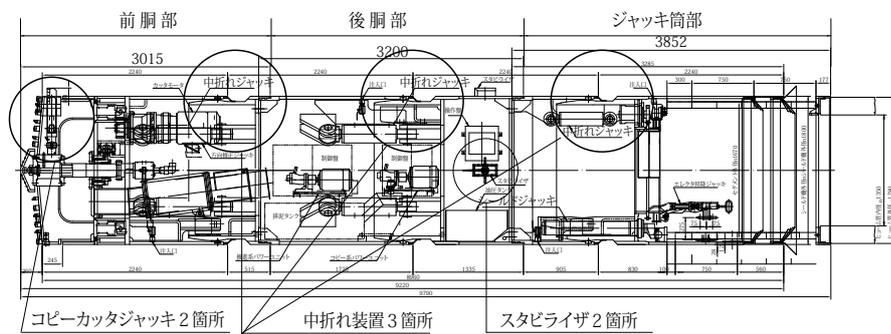


図-7 掘進機全体図

の添加材の併用や2液ショット型の高粘性滑材の使用が一般的で、長距離推進の場合は自動滑材注入などの工夫も必要です。

3.3 周辺技術

【海洋汚染対策】

海底推進は多かれ少なかれ水中での作業を伴いますから海洋汚染対策が必要で、防護シートやネットによる汚濁流出防止とともに泥水・滑材・裏込材などの逸出対策が必要です (写真-12)。

4 複合推進工

▶ 推進工法+シールド工法

推進工法とシールド工法の互いの長所を生かし短所を補う工法として、複合推進があります。特に推進工法に用いられる管材では対応しきれない急曲線部を路線の途中に含む場合は、急曲線部手前までは通常のヒューム管を使用した推進工法で施工し裏込注入や軌

条設備を設置してからセグメントを組立てるシールド工法に切替える工法です。

4.1 掘進機

複合推進に用いられる掘進機の本体は通常の推進機で、その後方にシールドジャッキやエレクタを内蔵したシールド筒を取り付けます。シールド掘進機と違って全損ではなく損料計上であるため、到達立坑での回収を前提とします。また、急曲線施工に多く用いられるため折れ角を十分に確保できる中折れ式の方角制御ジャッキを装備しています (図-7、写真-13)。

4.2 管材

推進分の管材は一般的には通常のヒューム管が多く用いられ、シールド部の管材はセグメントが用いられます。セグメントは鋼製やRC等がありますが管内搬送や組み立て作業の簡便さから鋼製のセグメントが多く用いられています。この場合掘進完了後には二次覆工を施工して管路に仕上げます



写真-13 掘進機全景



写真-14 切替部全景

が、今後は二次覆工省略型のセグメントを使用する技術が開発されることが望まれます (写真-14)。