

解説 進化発展した技術

大口径推進工の最先端 ～こんなことまで出来るのか！～



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)

技術革新が顕著な推進工法の中でも、特に近年の大口径推進工は「こんなことまで出来るのか！」というような驚きの施工実績が数多くあります。主な施工技術としては(1)長距離施工(2)曲線施工(3)大深度施工(4)小土被り施工(5)急勾配施工などに分類されますが、それぞれ問題点を着実に解決して驚異の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させていただ

きたいと思います。

1 長距離施工

【推進抵抗を低減してスムーズに施工】

1.1 推進抵抗低減

【滑材注入】

長距離施工のポイントは推進抵抗の低減であり、そのために滑材注入の工夫がいろいろなされています。主な技術としては後続の管列からの注入時間や注入圧を制御した自動注入です。基

本的には長距離推進における推進抵抗低減の方策はこの「滑材の自動注入」が最も一般的で、その他の付帯技術を組み合わせる方法が数多く提案されています(図-1)。

また、注入箇所および注入量の選定根拠として推進中の管列の推進抵抗を部分的に計測して、注入管理を行なう技術なども開発されています(図-2,3)。

【塑性材料充填】

掘進機直後のテールボイドに塑性材料を充填して推進抵抗の増大を防止する考え方で、テールボイド量・充填材などは種々の提案があります。大きく分けると泥濃方式の可塑性材料充填工法と土圧・泥水方式のCMT工法などがあり、それぞれに数多くの実績があります(写真-1)。

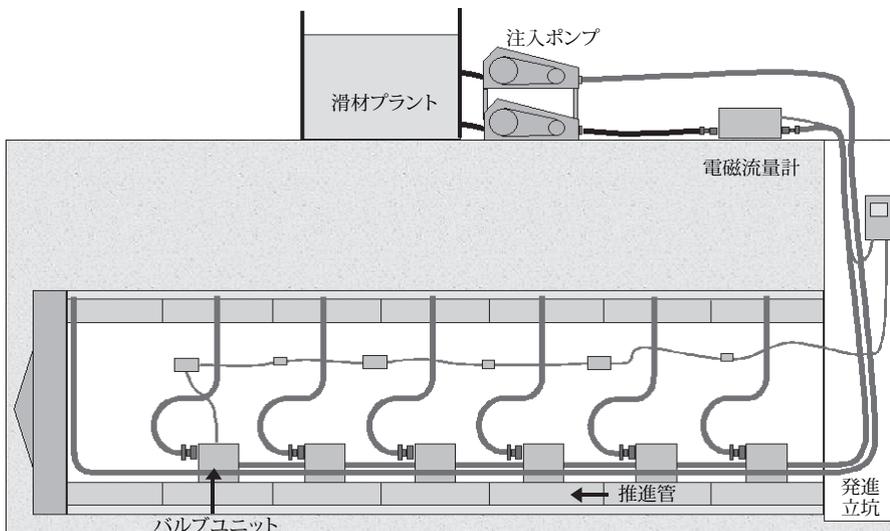


図-1 ULISシステム



写真-1 2管推進用発進立坑・推進中

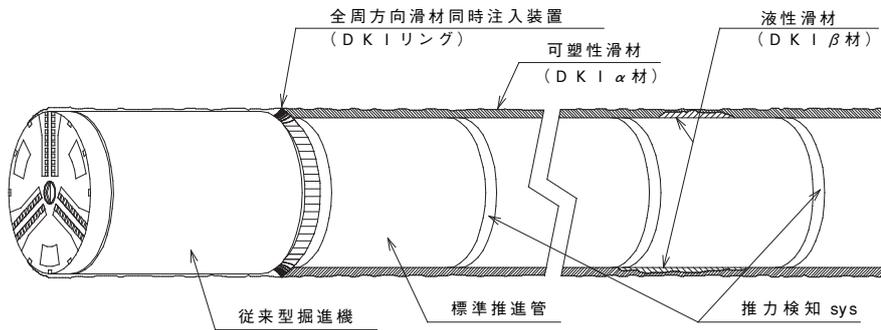


図-2 DKIシステム概念

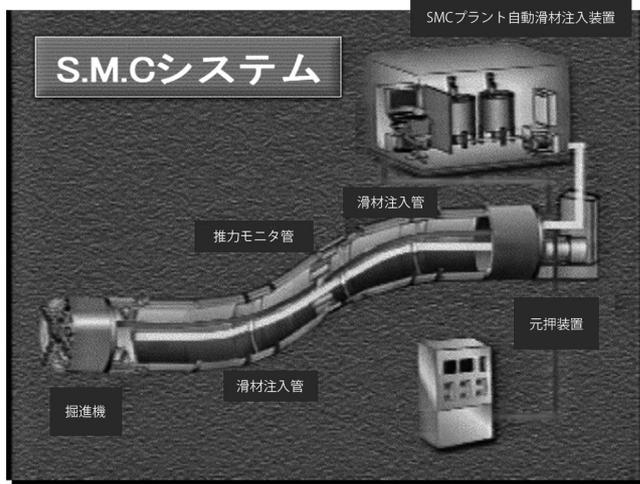


図-3 SMCシステムフロー

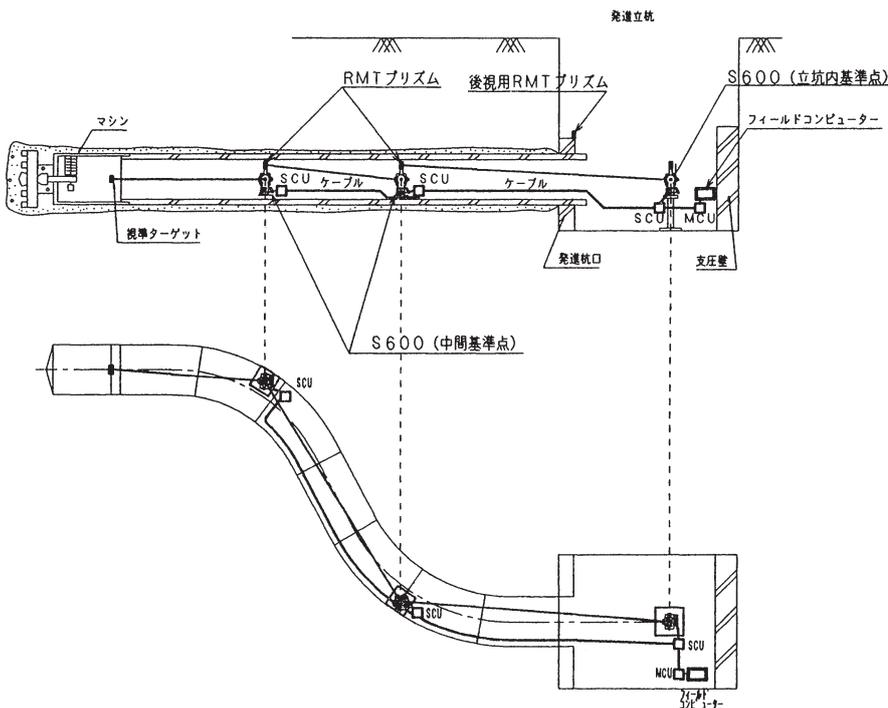


図-4 計測管理システム概念図

【テールボイドの再生】

長距離推進の管列の移動や時間経過によってテールボイドが保持できなくなったり縮小されたりすることに対して、推進途中で再度テールボイドを拡幅して再生する方法です。

1.2 精度確保(測量技術)

長距離推進における精度確保は基本的には通常の推進工における方法と同じですが、測量精度がより厳格に求められることと発進立坑からの見通しがきかないことです。そのため現在では500mを超える泥水・泥土圧施工においては直線・曲線にかかわらず自動測量システムが使用されています。また、常時の掘進機の姿勢監視はジャイロコンパスを設置して行っているケースもあります。そのため、1000mを超える長距離施工においても高精度な管理が可能になり、到達精度も驚異的に向上しています(図-4)。

1.3 周辺地盤との縁切り

(二重管推進工法)

長距離推進において推進抵抗の低減とともに周辺地盤と物理的に縁を切って、上載構造物や周辺地盤の変移を防止する二重管推進工法があります。推進前半の二重管部は外管推進が完了すれば裏込め注入を行なって周辺地盤を安定な状態にできるため、発進立坑から比較的近いところに列車軌道などの重要構造物がある場合、重要構造物直下まで二重管で施工しそれ以後は内管のみを押し出せば長距離施工であっても比較的早い時期に裏込め注入の施工が行なえます(図-5)。

1.4 その他の周辺技術

【残土搬送】

長距離推進工における管内残土搬送は泥水工法の流体輸送、泥土圧工法における土砂圧送ポンプ、泥濃工法の空気スラリー輸送などですが、いずれも長距離化に伴う効率の低下や中継によ

る管内スペースなどが問題になります。これらの問題は推進管径の設定と合わせて今後の問題でもあります。

【遠隔管理システム】

長距離施工には限りませんが、推進工における管理項目が複雑であったり一箇所での集中した制御が必要な場合、掘進機の種々のデータや元押し設備のデータ（推進抵抗）・滑材注入状況などをリアルタイムに一箇所に表示して制御することがあります。長距離施工においては管理項目が多岐にわたるとともに切羽と元押し・プラントなどが物理的に離れるため、遠隔管理システムの導入が必要です。現状では数多くのデータを一箇所に集中して制御することが可能で、方向制御などを含めた総合的な自動制御が期待されます。

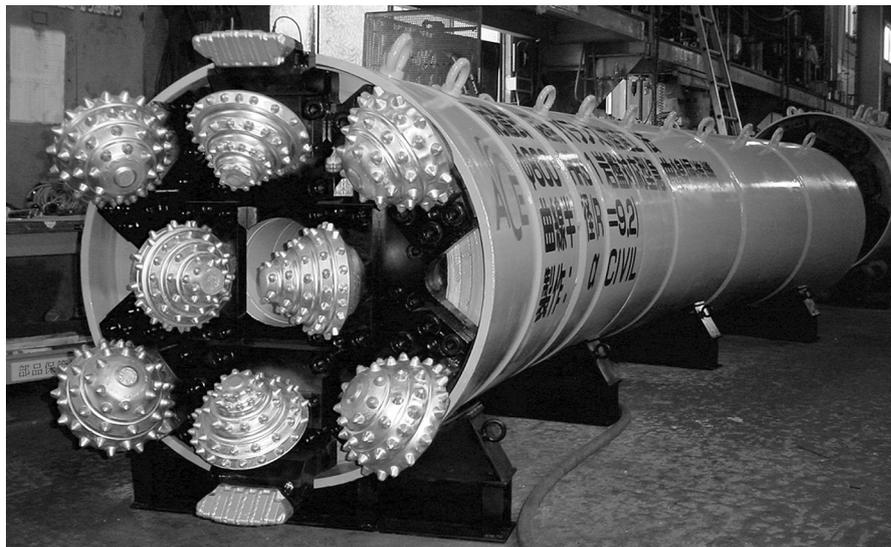


写真-2 φ800超急曲線破碎型掘進機

2 曲線施工

〔推進管の破損を防止してスムーズの推進力を伝達〕

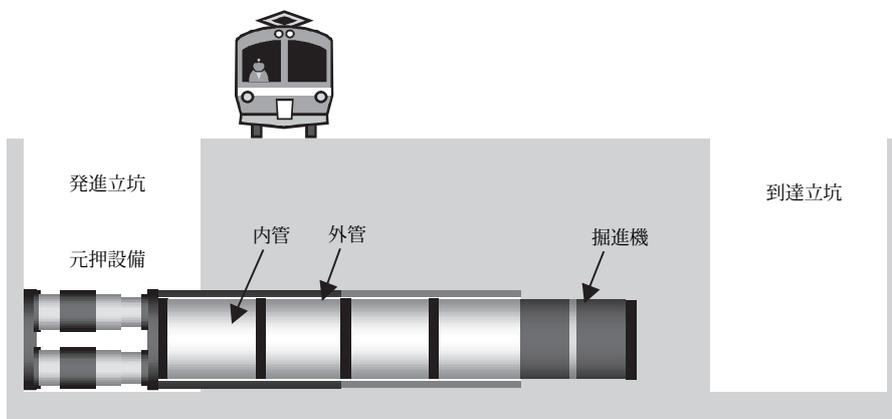


図-5 重要構造物直下二重管推進

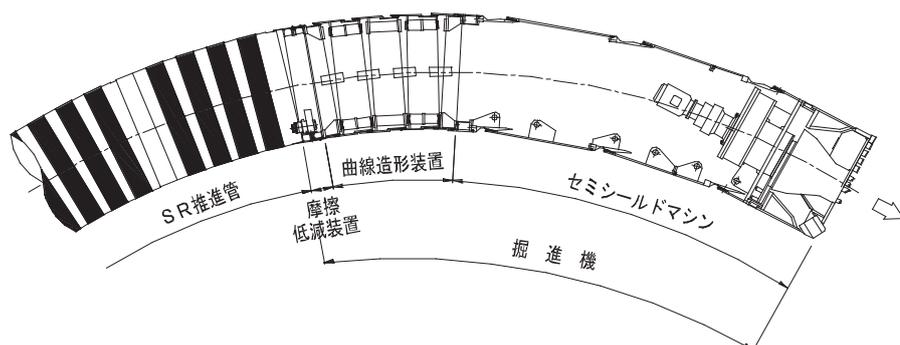


図-6 要素技術の配置イメージ

2.1 曲線造成

【掘進機】

曲線推進の第一歩は曲線造成であり、まず掘進機が十分な折れ角をもって曲線を形作ることが重要です。急曲線用の掘進機は大きな折れ角を有する中折れ部が2段以上のものもあり、このような掘進機を使用して地山を曲線形状のトンネルに切削していきます（写真-2）。

【曲線造成用後続管】

掘進機の折れ角のみでは不安であったり後続の管列の追従をより確実にしたりするため、多段折れの後方筒を装備する場合があります（図-6）。

2.2 推進管

曲線施工に使用する推進管は継手部の目地が開いて抜け出すため下水道協会規格のJC継手が多く使用されますが、JC継手でも抜け出す場合は特殊な管を使用します。また、曲線施工に伴う横方向の偏荷重による応力と推進力伝達に伴う軸方向の圧縮応力に対しても十分な安全を確保しなければならないため、この面でも特殊な推進管が必要になる場合があります。

【合成鋼管】

急曲線施工において半管や1/3管でも目地開き量が継手部の許容拔出し量を超える場合はさらに短尺の推進管を使用しなければなりません。ヒューム管ではその荷重に対する安全が確保できないため合成鋼管が使用されています。合成鋼管は外側が鋼製で内側がコンクリートであり、ヒューム管と比較して外圧強度や管端部の応力集中に対する安全性に優れるため、一本の長さが40cm程度の短尺管の製作も可能です（写真-3）。

【SR管】

曲線推進に使用する推進管の中には、管自体が途中で折れる構造の推進管もあります。推進管の中間数か所に推進力伝達材が挿入され、曲線施工に伴って推進管自体が伝達材のところで折れ曲がり、クッション材としての働きがあるため管の破損を防止して推進力を伝達する機構です（写真-4）。

2.3 推進力伝達

曲線推進では推進力を管継手部で折れた状態で伝達しなければならないため、継手部に工夫が必要です。

【推進力伝達材】

曲線部を通過する推進管の継手部に低発泡性のスチロールの推進力伝達材を上下に設置します。この伝達材の塑性変形で推進力が管の中央断面付近で伝達されるため、曲線施工時の外側への膨らみや管端部の破損を防止して後続管のスムーズな追従を可能にする工法です（写真-5）。

【多段ジャッキ伝達方式】

曲線部を通過する推進管の継手部（特に前方部）にスクリージャッキなどの開口を調整できる治具を挿入して、推進力を伝達する工法です。

3 大深度施工

【高水圧をシャットアウト】

3.1 推進管

最近の推進工事は輻輳する地下埋設物を避けるため土被りがより深く設定される傾向にあり、特に大深度地下利用促進の必要性から従来の常識を超える土被り40m程度の施工も行われています。その場合に問題となるのは地

下水圧であり、まず推進管の耐水圧が要求されます。下水道協会規格では推進管の継ぎ手の止水性能は0.2Mpaまでであるため、高水圧下の施工では合成鋼管やダクタイト管などの特殊な推進管を使用します。それらの管の継手止水性（シール性能）は合成鋼管の場合1.2Mpaでダクタイト管の場合2.45Mpaですので、高水圧下でも安全な施工が可能です（写真-6）。



写真-3 急曲線用短尺管

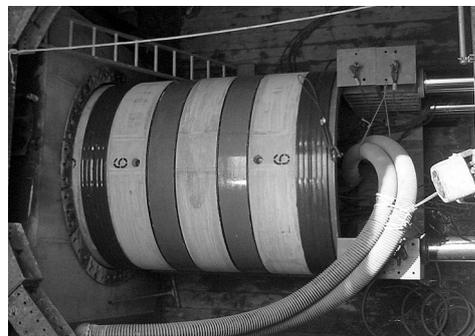


写真-4 発信状況

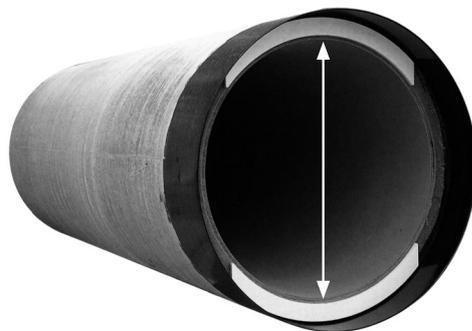


写真-5 センブラリング

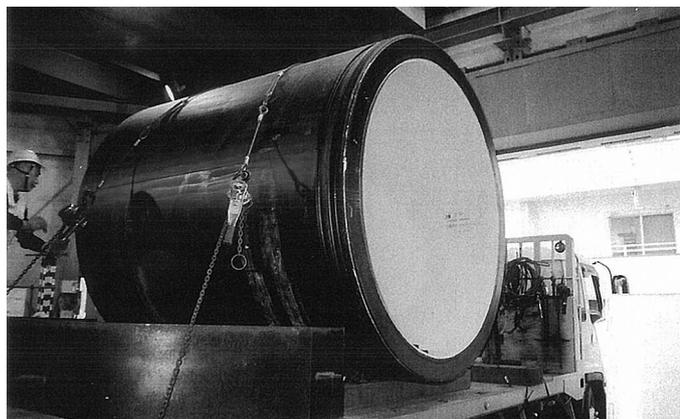


写真-6 合成鋼管

3.2 Backing防止

高水圧下の推進施工では、特に発進直後などには前面の水圧によって推進管が後退する現象（Backing）が発生します。そのための対策としては、予め推進管にアンカーを挿入して専用治具を取り付ける方式と、油圧ジャッキを使用して推進管を押さえつける方式があります（写真－7、8）。

3.3 坑口リング

高水圧下の施工では発進・到達の作業が最も緊張する場面であり、その安全を保証するのは坑口リングの止水性です。0.2Mpaを超える高水圧下ではダブルパッキンやチューブ式などの特殊な坑口が使用されています。

4 小土被り施工

〔緻密な管理で地盤変状を防止〕

4.1 切羽バランス保持

小土被り施工においては切羽の土圧制御範囲が狭く、バランスが崩壊した

ときには瞬時に影響が出るという困難さがあります。そのため、切羽バランスの保持が最も重要であり、時には掘削土量監視システムを併用したり上部地盤改良などの上部地盤改良などの補助工法を併用したりします。

4.2 滑材注入

テールボイドの保持が出来ない場合その影響が地表に出る可能性が大きいいため、小土被り施工においては滑材の注入が重要です。特に注入圧を上げると地上への噴発が懸念されるため、低圧で継続して注入する必要があります。そのためテールボイドの保持効果の高い高粘性滑材を用いたり自動注入を併用したりします（写真－9）。

5 急勾配施工

〔急傾斜・垂直を推進〕

発進立坑や到達立坑をできるだけ浅くしてコストダウンを図る手段として、急勾配施工があ

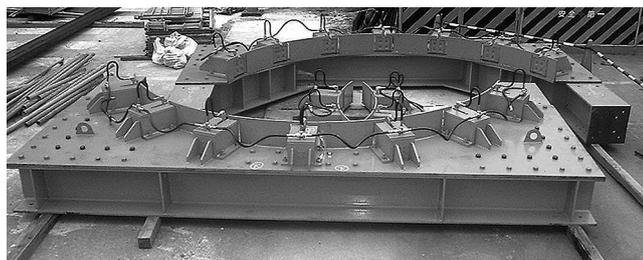
ります。この目的のためには通常は工事費の比較や既設幹線への接続の必要性から、発進立坑を浅くして下り急勾配で施工しますが、地表形状や既設埋設物の問題で反対のケースもあります。極端な例としてはほぼ垂直に近い施工事例もあり、推進工法は必要に応じてどのような線形にも対応できています（図－7）。



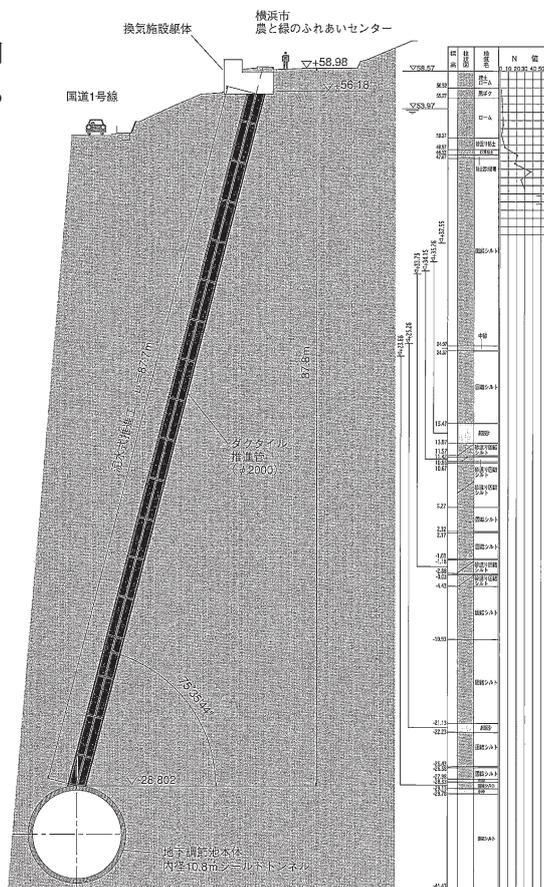
写真－9 アルティークレイ標準混合流体



写真－7 Backing制御（外アンカ固定方式）



写真－8 Backing制御装置（油圧方式）



図－7 換気施設断面図