

推進工法の最新の技術動向

The Latest Technology of Pipe-jacking Method

望 月 崇 (もちづき たかし)

飛鳥建設㈱ 建設事業本部

1. はじめに

近代的な推進工法は、1895年ごろアメリカの北太平洋鉄道横断工事に採用されている。我が国では、アメリカと同様に軌道下での横断工事として1948年に国鉄尼崎臨港線の軌道下のガス管の横断工事に採用されている。この工事は、当初は軌道を鋼材で仮受けし開削で施工することになっていたが、戦後すぐの工事で上記の材料が入手できず、推進工法で口径600 mmの铸铁管を埋設した工事である。翌年の1949年には、ヒューム管φ600 mmを配水管用のさや管として使用して、阪神本線軌道下横断工事が施工されている。そして、1951年には推進管を本体構造物とした、排水管に推進工法が採用されている。初期の推進工法は、ガス、水道、通信ケーブル等のさや管を、軌道、水路、道路等を横断して埋設するための特殊な工法であったが、徐々に道路縦断方向の管の埋設にも使用されるようになり、推進延長を増大するために、1953年中押し工法が考案開発された。しかし、当時はまだ、推進ジャッキ、推進管の耐力等の問題で推進延長は30 m程度であった。

1960年半ばまでの大中口径管推進工法は刃口式推進工法であり、切羽地盤の安定のために、補助工法としてウエルポイント、ディープウエル等の地下水水位低下工法、薬液注入工法、圧気工法等の補助工法が必要とされていた。しかしながら、これらの補助工法は周辺地盤や地表構造物への影響が出たり工事価格の高騰というデメリットがあった。しかし、1964年には、フランスで開発された泥水工法を荒川左岸流域下水道工事の推進工事でシールド工事より先に採用した。その後は、シールド工法の技術を取り入れて安全性の高い密閉型の工法へと進展し、土圧式推進工法といった機械式推進工法が開発され、泥濃式推進工法を含む現在の密閉型推進工法が確立された。

この約60年の間に推進工法は、さまざまな施工条件下で採用され実績をあげており、そして、技術上の多くの課題を解決して今日の推進技術が形作られてきた。

本文においては、大中口径管推進工法の最新の技術として曲線施工、長距離施工、大深度施工、ボックス推進施工等について紹介していきたい。

2. 大中口径管推進工法

推進工法は、呼び径800以上、3000以下の大中口径

管推進工法、呼び径700以下の小口径管推進工法、取付管推進工法及び改築推進工法に分類される。

この分類は、推進工事において、切羽の土砂崩壊の際、坑内の作業員が退避できず死亡した事例、換気不足のため酸素欠乏の事故により死亡した災害事例が発生していたため、このような災害を防止するために、昭和50年4月7日付け、労働省基発第204号「下水道整備工事、電気通信施設建設工事等における労働災害の防止について」の通達により、推進管内に人が入って作業する場合、内径800 mm以上の鉄筋コンクリート管、さや管等を使用するように努めさせることとなった。さらに、推進管内に人が入らない作業を前提にした「下水道小口径管推進工法用鉄筋コンクリート管 (JSWAS A-6-1989)」の制定により呼び径の範囲が規格されたことに基づくものである。

推進工法の基本形は、大中口径推進工法であり、推進工法の技術開発は、大中口径推進での課題の克服により進められてきた。

3. 曲線施工

曲線施工は1965年熊本で $R=88$ mの曲線が施工されている。当時は、いかに真直ぐにするかが大問題であり、そのために継手にキャンバーを打ち込んで強制的に修正したり、刃口を傾けたりして修正しており、いろいろと苦労していたようである。曲線推進は邪道と言われた時代だが、曲がるものが直せるのであれば、計画的に曲げることができると発想して施工したようである。近年では、密閉型の掘進機を使用しての曲線施工が行われている。

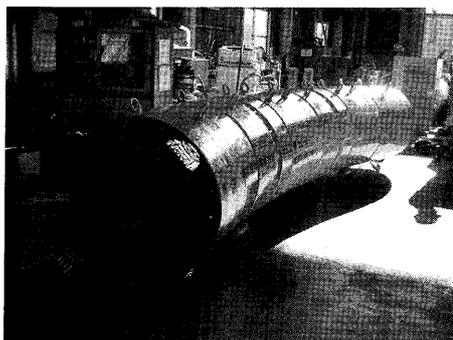
3.1 掘進機

曲線推進は、掘進機が掘削したところを推進管が進んでいくことになる。このため、掘進機で設計どおりの曲線を造成する必要がある。掘進機は、2段以上の中折れがあり、大きな折れ角を有する掘進機を用いて掘進することになる。

また、掘進機の後に続く管列の追従をより確実にするために、多段折れの後方筒を装備する場合もある。

3.2 推進管

推進管は掘進機が造成した曲線を進んでいく。このため管外側の管列の目地が開くことになり、継手性能で使用する管の規格が決まる。また、目地の開きが継手性能以上に開く場合には、管の長さを、標準の2.43 mの長

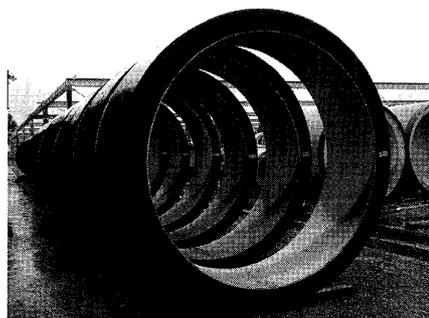


写真一 呼び径800用急曲線掘進機

さの1/2, 1/3…1/6 と短尺の管を使用することになる。

(1) 合成鋼管

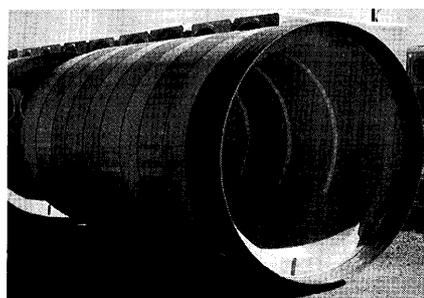
管の長さが標準長さの1/2, 1/3 管においては、ヒューム管で荷重に対する安全性は確保、製作は可能であるが、1/3 管以下の短尺管では難しいため特殊な合成鋼管が使用されている。合成鋼管は、外側、継手部が鋼製で、内側がコンクリートで、ヒューム管に比べ、外圧強度や管端部の応力集中に対する安全性に優れている。



写真二 合成鋼管

(2) SR 推進管

1/2 や 1/3 管 (最大 1/5 管) の短尺管が必要な場合に、予め可とう部を管本体に設置することにより、標準の長さ (=2.43 m) の管として一体化した形で製造した管である。このため、SR 推進管の可とう部には、任意の施工条件に応じた推進力伝達材を予め設置してコンクリートを打設することから、曲線部の軸方向検討結果を必ず反映させることができる。



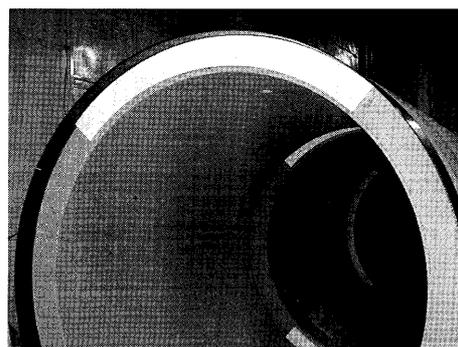
写真三 SR 推進管

3.3 推進力伝達材

曲線推進では、推進管は折れた状態で進むため、推進管の外側では目地が開き、内側では点で推進力を伝達す

るようになる。このため、一般的に管端面に推進力伝達材を使用し、推進力を伝達する方法が採用されている。推進力伝達材は、発泡ポリスチレン製で推進管端部に全周あるいは上下に設置する。この伝達材の塑性変形で推進力を管の中央断面付近で伝達されるため、曲線施工時の管端部の破損を防止し、後続管のスムーズな追従を可能としている。

この推進力伝達材を正しく使用するためには、曲線部の軸方向耐荷力の検証が必要となる。この検討は、曲線部において、推進力伝達材に生じる最大圧縮応力度が、推進管 (コンクリート) の許容圧縮応力度以下になるように、推進管及び推進力伝達材の設計を行っている。



写真四 推進力伝達材を貼った推進管端部

3.4 測量方法

曲線施工では、発進立坑から掘進機を直接見通せなくなるためにトラバース測量が必要になる。一般に、発進立坑内又は立坑外で掘進機の運転操作を行う遠隔操作方式の場合は自動追尾式トータルステーションによる自動測量が用いられる。掘進機内や推進管内で掘進機の運転操作を行う坑内操作方式では測量器の盛り替えによる管内測量が行われている。

ただし、坑内操作方式でも急曲線や多数の曲線区間があり、盛り替えに相当の時間を要する場合などは、自動測量が用いられている。

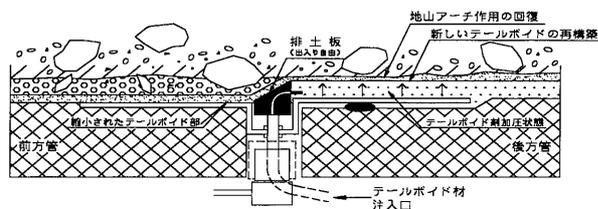
4. 長距離施工

約60年前、我が国で初めて推進工事が施工され、その工事では6mの推進延長であった。その後、推進延長を伸ばそうと、1953年に中押し工法が開発された。しかし、当時はシリンダー1本毎の操作のため3台設置したとしても同時の操作ができないため、結果的には1台の推進力しかかからない状態であり、推進延長はなかなか伸びなかった。

63年後の現在では、最長の記録は、優に1000mを超え、1447mとなっている。このような長距離推進を可能とした要件は、多くな推進力に耐える推進管自体の強度、推進管列が周辺地山から受ける摩擦抵抗をいかに低く抑えるかの技術開発によるものである。

4.1 推進管

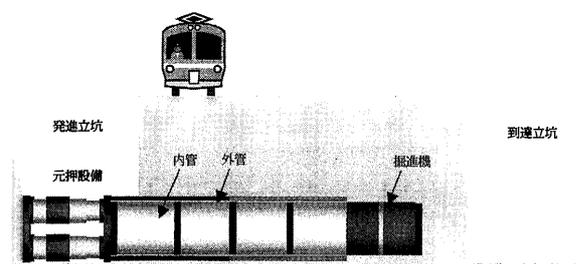
大口径推進管では、管体コンクリートの圧縮強度が50 N/mm²の50 N管、70 N/mm²の70 N管が下水道協



図—5 機械的テールボイド再拡張、修復方式

や周辺地盤の変位を防止する工法である。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い安定した状態にできる。

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、重要構造物を通過するまで二重管で施工し、それ以後は内管だけを押し出すことにより、長距離施工でも比較的早い時期に裏込め注入の施工ができる。周辺地盤の変位を抑えることができる。



図—6 二重管推進工法

4.4 測量技術

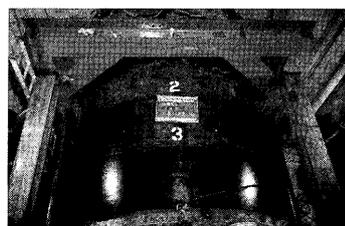
長距離推進では、測量精度がより厳格に求められ、発進立坑から見通しがきかなくなる。このため、500 mを超える施工においては、直線・曲線にかかわらず自動測量システムが採用されている。また、掘進中の監視はジャイロコンパスを機械に設置して行っている。

5. 大深度施工

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こととなる。このため、土被り40 m程度の推進工事が施工されている。この場合問題となるのは、第一に推進管である。下水道協会規格の推進管の継手の止水性能は0.2 MPaまでであるため、高水圧下での施工では合成鋼管（継手止水性能1.2 MPa）やダクタイル管（継手止水性能2.45 MPa）等の特殊管を使用する。

第二の問題は、バックリングである。高水圧下での推進施工では、掘進機前面に地下水圧、土圧が常に掛っており、新しい推進管をセットする場合に推進管が後退する現象（バックリング）が発生する。そのため、対策として推進管にアンカーを挿入し専用治具を取り付ける方法や、油圧ジャッキを使用して推進管を抑える方法がある。

第三の問題は坑口リングの止水性である。推進の場合、発進から到達まで常に推進管が動いている。このため高水圧下では二重バックリングやチューブ式などの特殊な坑口を採用している。

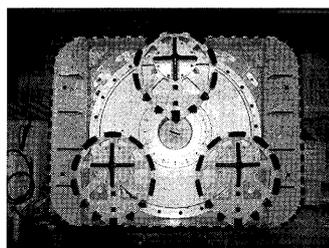


写真—5 バックリング防止装置



写真—6 二重バックリング

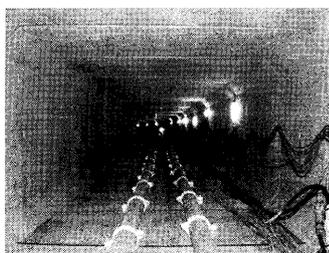
6. 密閉型ボックスカルバート推進



写真—7 密閉型ボックス掘進

ボックスカルバート推進は、以前から数多く施工されていた。そのほとんどは開放型の刃口推進工法での施工であった。最近では、

長距離、曲線施工を効率よく施工するため、機械式密閉型のボックスカルバート推進が施工されるようになった。



写真—8 掘進中の曲線部函内

掘進機のカッ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分が残る。そのため、未切削部を少なくするため補助カッタ方式・遙動カッタ方式・自転公転方式などの方法で対応している。

掘進機のカッ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分が残る。そのため、未切削部を少なくするため補助カッタ方式・遙動カッタ方式・自転公転方式などの方法で対応している。

7. おわりに

推進工法（大口径径管推進工法）が国内で施工されてから60年以上がたつ。この間、推進工法は困難な土質条件や、複雑で困難な施工条件に対して、新しい技術を開発し、提案・施工することにより、着実に進歩を続けてきた。今後においても、発注者や社会環境の要望をうけて、より困難な制約条件を克服するための技術開発を続け、必要な場所に必要の管渠を埋設するよう努めていきたい。

参考文献

- 1) 中野正明：大口径推進工の最先端～こんなことまで出来るのか～、月刊推進技術、Vol. 24, No. 7, pp. 23～27, 2010.
- 2) 人見 隆：難易度の高い曲線施工を完遂するSR推進管、月刊推進技術、Vol. 24, No. 11, pp. 18～25, 2010.
- 3) 二村恵一・土井秀明：推進工法用ガラス繊維鉄筋コンクリート管の開発の経緯と実践、月刊推進技術、Vol. 22, No. 8, pp. 8～14, 2008.
- 4) 松下 博：推進工法用レジンコンクリート管の開発経緯と実践、月刊推進技術、Vol. 22, No. 8, pp. 2027～25, 2008.
- 5) 日本下水道管渠推進技術協会：推進工法体系Ⅰ・Ⅱ。

(原稿受理 2011.10.13)