

解説

時期尚早であった推進技術提案

岡村 道夫

機動建設工業㈱
技術本部技術部長



1. はじめに

わが国初の推進工法は、当社が昭和23年5月に兵庫県尼崎市の大物というところで、国鉄尼崎臨港線の軌道下にガスのさや管としてφ600mmの鑄鉄管を約6m推進施工したものであるとされています。それから61年が経過し、既に立派な都市土木の一つの工法として確立され、当初の施工方法と比較すれば現在の推進工法は、その規模、延長、精度等総べての面で格段に進歩し、技術的にも当初予想もできなかった発展をとげています。

当社は、創業当初から推進工事の専門業者として、高い水準の技術開発を第一義にあげ、その基本路線を変えることなく推進技術の高度化に努めてきました。このような考えから、様々な研究開発が進められ、多くの成果を上げてきました。それは、600件以上に上る特許・実用新案の出願にも如実に現われています。

本稿では、先人達の努力によって開発・実施された技術の中で、当時の情勢下では余りにも時期尚早であったと思われる数件の工法について、当時の開発経緯と技術の概要及び施工事例について

紹介いたします。

2. 推進関連の開発技術

2.1 混合推進工法（当社の呼称）

(1) 開発経緯

本工法は、推進工法とシールド工法を組み合わせ曲線推進を可能にする技術で、当時は混合推進と名付けていました。

昭和40年代当初の推進工法は、如何にしてまっすぐに推進するか腐心していた時代で、とにかく直線であるべきだという考え方が強く、安易に曲線推進を考える情勢ではありませんでした。すなわち、推進工法は、非常に長い多数の管を自由支承で接続しただけの管列をそのまま、後方から推進力を付与して押し進めるため、先頭部は必然的に曲がりやすいという宿命がありました。これは管列推進の駆動部が後方にある、先頭に駆動部を有するような牽引式でないということ、いわば、長い何台も連結したトレーラの後退運動を想定すれば容易に想像できます。もっとも、推進工法では管体の接続がトレーラのように、ピン連結

ではなくて面接続であることや、地中を推進するので管体周辺の土圧拘束力もある程度期待できるなどの若干の恵まれた条件は存在しますが、基本的にはかなり困難な問題であったことは間違いありません。しかし、このことが方向制御技術、ひいては曲線推進工法に役立つ数多くの創意工夫を産み出したことも、また事実です。当時、埋設される下水管路などは、道路の形状によって曲線を含むことが多く、交差点内や地下埋設物の輻轉する施工条件では、立坑構築や開削工法は採用できないという問題が提起されていました。そこで、曲線区間は、先頭に駆動部をもつシールド工法で、直線区間は推進工法で受けもつ混合推進工法が提案されました。この技術の発想は非常に早く、昭和44年の当社カタログに紹介されています。

(2) 技術の概要と施工事例

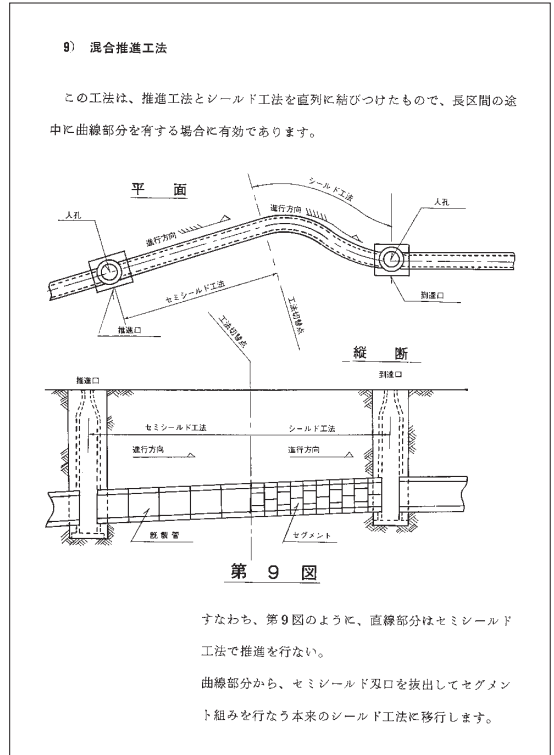
【技術概要】

混合推進工法は、図一のカタログに示しますように、直線区間を発達立坑側、曲線区間を到達立坑側に計画し、直線区間は推進工法で、曲線区間からは、セミシールド刃口を抜出してセグメント組み立てを行う本来のシールド工法で計画されています。

【施工事例】

前述のように本工法は、昭和40年代初めに考案されましたが、このアイデアが実施されたのは、カタログで紹介されてから10年経過した昭和54年でした。

それは、大阪府箕面市の雨水幹線工事で、箕面川に放流するためのボックス推進でした。この工事の上流側はφ2400mmのヒューム管が推進で埋設されてきましたが、施工区間では、箕面川に架かる西小路橋の橋脚と民地に挟まれた道路復員がφ2400mmの外径2810mmよりも狭く、また、最終的にR = 15mの曲率で約80度曲げて川に放流されなければならないという制約条件がありました。そこで、φ2400mmのヒューム管と概略同等の断面積を有する高さ2400mm、幅1900mmの鋼製ボックスを用いて、図一2に示しますように、前半17mの直線部を推進工法で、後半20m



図一 混合推進工法カタログ

の曲線部 (R = 15m) は先端刃口を前進させ、刃口内に逐次テーパセグメントを組み立てるシールド工法で施工する計画を提案し採用していただきました。この混合推進施工は、高精度に無事終了し、発注者からは高い評価をいただきました。この雨水管路は、現在も雨水排水函渠として健在です。

その後、通常の推進工事が多忙になってきたことから、混合推進工法のPR活動も行われることもなく現在に至っていました。近年になって、本工法のアイデアが複合推進工法という名称で実施され注目されていることを考えますと、先見の明があったと考えます。

なお、本工法は、基本となる混合推進工法の特許出願は行われず、昭和54年に実施された施工方法だけが特許出願され、特許登録となっています。

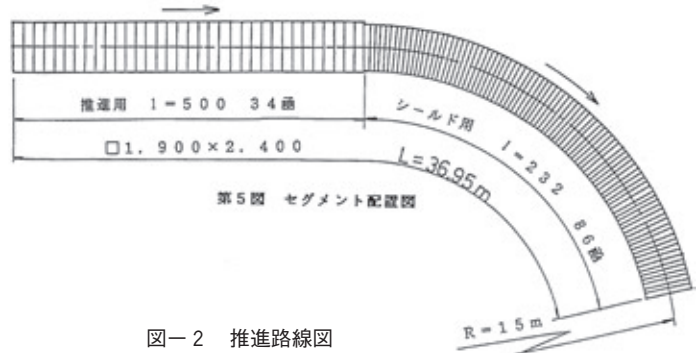
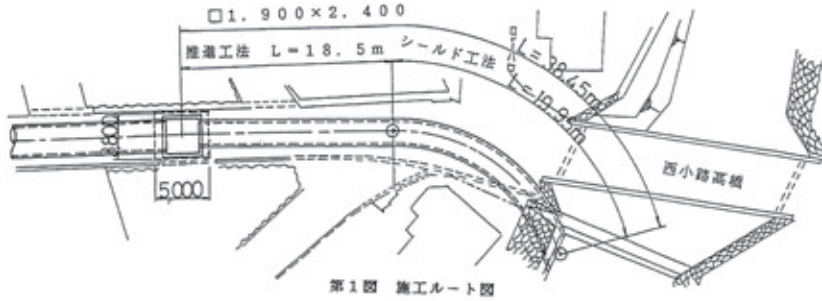


図-2 推進路線図

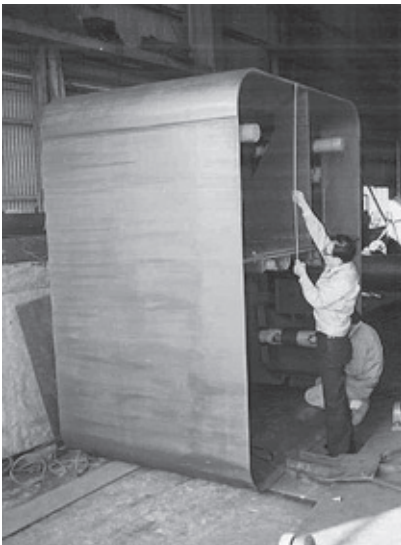


写真-1 混合推進用刃口



写真-3 混合推進（曲線部）



写真-2 セグメント組立

2.2 ステーション工法

(1) 開発経緯

本工法は、推進工法やシールド工法の発進基地、あるいは資機材の搬出口となる発進立坑や到達立坑に関するものです。

公共の施設である下水道をはじめとする管路は、一般に道路や歩道下に埋設されるため、発進立坑や到達立坑は道路上に設置されます。このた

め、交通量の多い道路下や商店街等を通過していく推進施工では、発進立坑や到達立坑の構築が車両通行の支障や商店の営業を妨害することとなり、立坑の設置が問題となっていました。

この問題の解消を目的に、推進路線となる道路の上には支障となる発進立坑や到達立坑を開口させることなく、推進作業ができるステーション工法が提案されました。ステーション工法という名称は、推進工法やシールド工法の発進基地という意味合いから付けられたといわれています。この技術は、昭和43年に提案され、昭和44年の1月に特許出願が行われています。そして、前記の混合推進工法と同様に、昭和44年2月に発行された当社カタログに紹介されています。

(2) 技術の概要と施工事例

【技術概要】

ステーション工法は、図-3のカタログに示しますように、発進立坑や到達立坑の設置位置に隣接した空地等を確保し、そこに吊込口（ピット）を築造し、吊込口と発進立坑となる推進坑との間に横坑を推進施工して連絡させる方法です。管材や資機材の搬入は、吊込口から横坑を通して推進坑へと運搬されます。

当工法の提案により、推進路線となる道路や歩道上には、作業基地等が一切なくなり、工事による支障を完全に排除した推進施工が可能となります。

【施工事例】

本工法の開発は、当時は今ほど車両が多くなかったため、片側通行や迂回路の設置により対処可能であったことから、先ほどの混合推進工法と同様にしばらく採用されることはありませんでした。そして、このアイデアが採用されたのは、何と提案から27年経過した平成8年で、場所は神戸市でした。

神戸市では、平成7年（1995年）1月17日に発生した阪神・淡路大震災により破損した狐川の改修工事が国道下にシールド工法で計画されました。しかし、当時は大震災による復旧作業がピークを迎えており、資機材の搬出路の要となる幹線道路に、シールド工法の基地となる発進立坑を

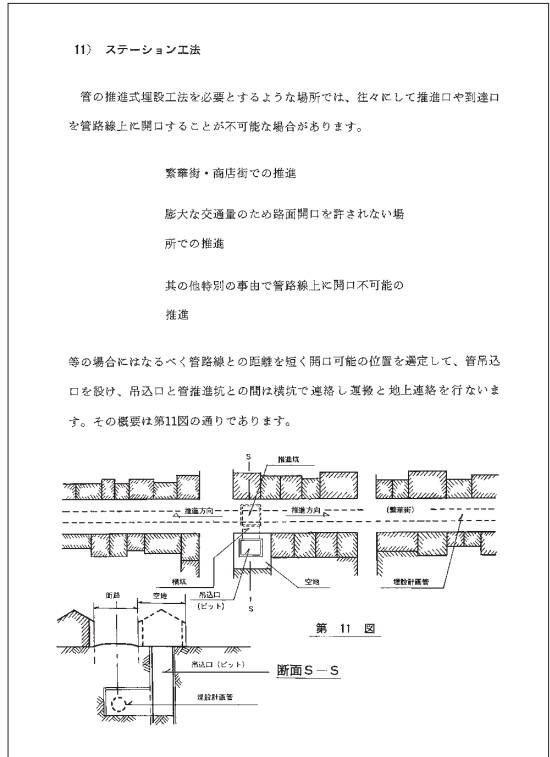


図-3 ステーション工法カタログ

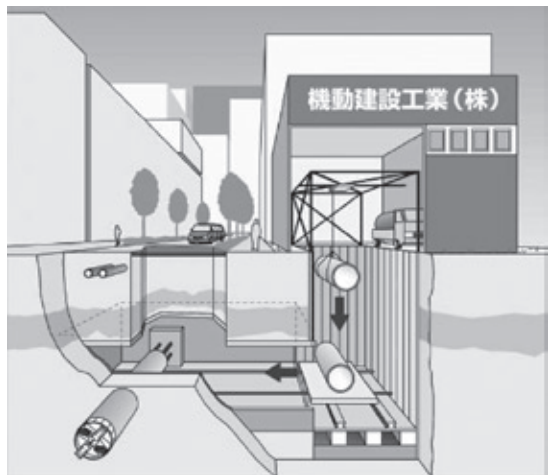


図-4 ステーション工法概略図

構築することは許されませんでした。

このため、路線となる道路の上には作業基地等を必要としない当工法が採用されました。横坑の形状は、大口径シールド工法の発進基地となるため、鋼製の矩形断面で外法幅12.1m×高8.9m、



写真-4 吊込口の防音壁

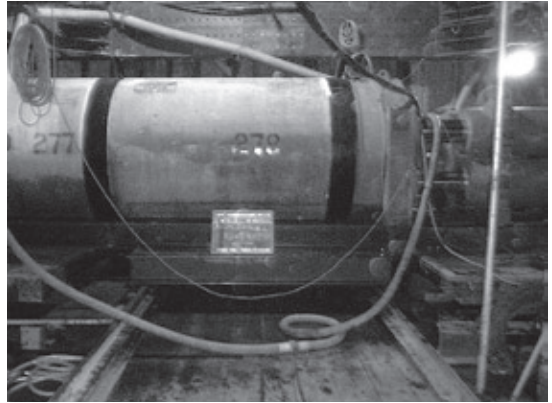


写真-5 トラバーサ設置

推進延長 $L = 6.7\text{m}$ となっています。矩形函渠は、大断面のため分割して運搬され、吊込口内で組立てられて一体化されました。ステーション工法は、幹線道路に一切支障を与えることなく施工され、その後のシールド工事もステーションを利用することにより幹線道路に一切影響を与えることなく、効率良く施工を完了しました。

その後、東京都をはじめとする大都市圏では、過密化する市街地の事情から車線減少や迂回路の設置方法では対応ができなくなってきたことから、本工法が多く採用されるようになりました。本工法も、推進管材を横坑内から推進坑内に移動させるトラバーサを推進台として利用する改良技術等が提案され、より効率の良い施工が可能となっています。このトラバーサ技術は平成9年に特許出願され、特許登録されています。

以下に、平成13年に東京都水道局から発注された施工事例を紹介します。

〈工事概要〉

- 工 事 名：八王子市宇津木町602番地
～石川町1416地先間配水本管
(500mm・700mm) 新設工事
- 推進施工： $\phi 800\text{mm} \times 97\text{m}$ (1スパン)
 $\phi 1100\text{mm} \times 1072\text{m}$ (3連曲線)
- ステーション：幅7150×高さ3500×延長3000
- 土 質：砂
- 土 被 り：9.0m



写真-6 ステーション内推進状況

本工法も、当時の情勢下では余りにも先進的な発想であったと考えられ、数十年を経過した現在にやっと、本工法の技術が理解されたことに大きなタイムラグを感じます。

2.3 リモコン圧気工法

(1) 開発経緯

本工法は、圧気圧により切羽の崩壊を防止しながら推進施工を行う限定無人圧気工法です。

推進工法が開発された当初の切羽土砂掘削は、開放手掘りであったため、常に土砂の流出に対応しなければなりません。昭和40年代に入りウェルポイント等の地下水揚水工法が採用されるようになってから土砂の制御はかなり楽になってきました。しかしながら、揚水工法は地盤沈下の原因となり、このことによる工事公害の問題か

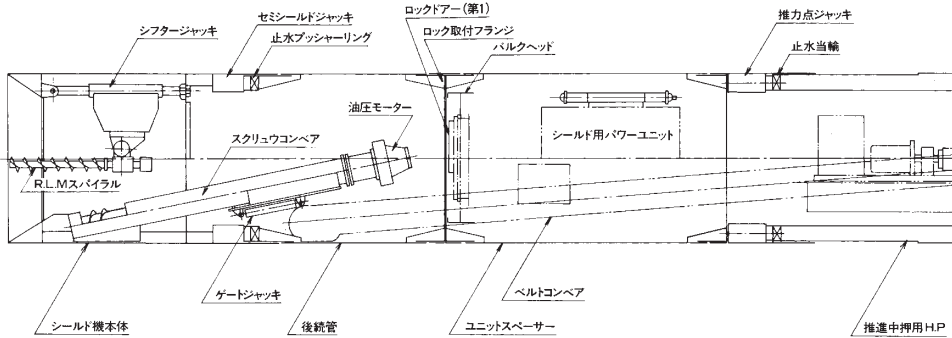


図-5 リモコン圧気工法概略図

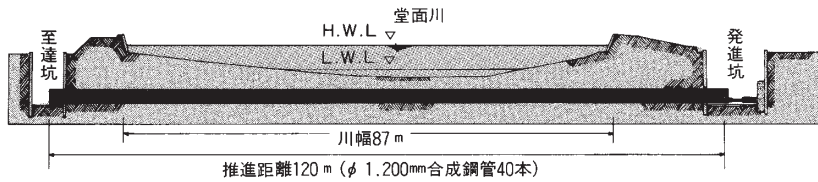


図-6 推進路線図

ら、圧気それも切羽先端の部分圧気を推進工法で利用することが試みられ、当社でも圧気工法の実施に乗り出しました。ただし、圧気室内での作業環境は極めて悪いことから、作業環境を改善する当社独自の圧気工法の研究開発に着手し、圧気室内の作業は全部ロボットが行うリモコン圧気工法が開発されました。この工法は、昭和46年に特許出願され、昭和50年に特許登録されています。

(2) 技術の概要と施工事例

【技術概要】

リモコン圧気工法は、図-5の概略図に示すように、圧気室内の厳しい作業環境から人を解放するために、掘進機の隔壁内のみを限定圧気し、オーガヘッドで切羽地盤を掘削する構造となっています。掘削した土砂は、マテリアルシールドコンベアの開発により、隔壁内のロックドアを開閉することなく大気圧下に連続的に搬出できます。圧気室外から窓越しに切羽状況を確認しながら適正な操作ができ、圧気圧も土質に合わせて自由に設定でき、万が一、噴発事故等が起きても作業員は全く安全であるなどの利点を有しています。



写真-7 河川横断箇所

【施工事例】

本工法は、圧気工法が全盛であった昭和40年代後半より、技術の信頼性や安全性が認められ、多くの河川横断工事に採用されました。その一実施例を以下に紹介します。

〈工事概要〉

工事名：公共下水道事業健老汚水幹線
(第2工区の1) 築造工事

発注者：大牟田市

管径：φ1200mm 合成鋼管

延長：120m

横断物：堂面川 (川幅 40m)

土被り：2.5m

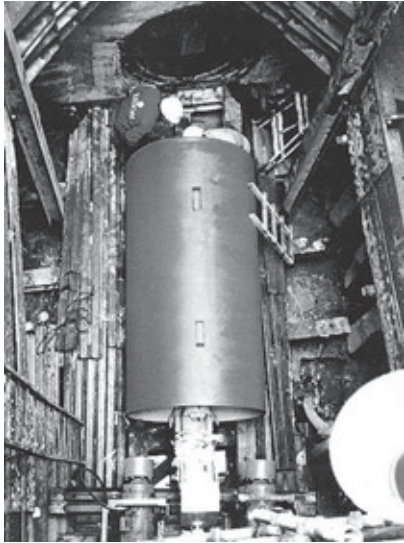


写真-8 リモコン圧気掘進機発進

本工事は、九州の大牟田市内堂面川の川底横断に採用されたもので推進施工を安全に完了しました。本工法は、その後も安全性が重視される河川横断等の施工に多く採用されました。

圧気工法は、現在の密閉型掘進機の切羽安定方法とは異なり、切羽地盤に泥水や添加材を加えないため、掘削土砂がクリーンな状態で排出され、環境に対して優しい工法です。しかしながら、適用地盤の範囲が狭かったことや昭和50年代に入り、密閉型機械推進工法の開発が急速に進んだことから採用が少なくなり、今では障害物が出る等の特殊な条件以外ではほとんど使用されていません。

基本的にはまだまだ研究開発の余地のある工法ですが、排出土が産業廃棄物にならない点では現在の公害防止の観点からも、もう一度再考しても良い工法ではないかと考えます。

2.3 LLB工法

(1) 開発経緯

大都市特に政令都市では昭和50年代には既に90%に近い下水道普及率を達成しており、管渠の更新・更生といった技術が取り上げられていました。管の破損、それに伴う地下水の侵入等は、老朽管渠だけに限られたことでなく、比較的新しい管渠でも、例えば硫化水素による管の腐食等に

より発生しており、これらから敷設される下水道管渠、特に人が中に入れない小口径管渠については、埋設条件・環境条件に応じた適正な管材（塩ビ管、強化プラスチック管）の採用が検討されてきました。

下水道管敷設総延長に占める推進工法の割合が約10%であるのに対して、開削工法は80%以上となっており、呼び径200以下の管材では、硬質塩化ビニル管のシェアが圧倒的でした。当社は、この塩ビ管を推進工法で埋設する試みにも昭和50年代当初に取り組み、その中で「小口径の軟質ダクトを推進埋設する方法」（特許第1266184号）を発明しました。これは、総推進力を先導管の先端抵抗力と推進管列の抵抗力に分離し、推進管には管列の抵抗力だけを負担させるというもので、エンバイナー工法で実用化され、現在の低耐荷力管推進工法として、小口径管推進工法の中で確固たる分野を確立しています。

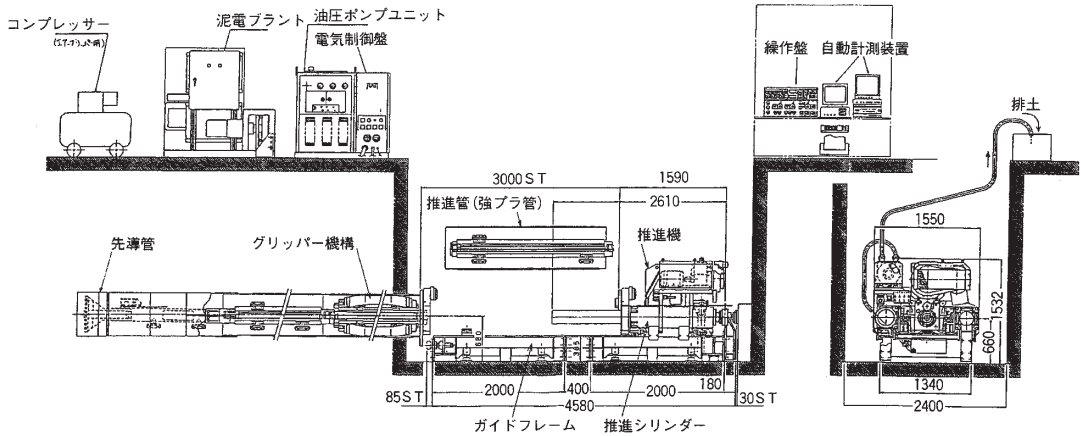
さらに、当社では強化プラスチック管等の低耐荷力管の長距離推進の要望に応えるために、このエンバイナー工法の推進力分散方法をより発展させた独自の推進力伝達システムを開発しました。

下水道管として優れた特性をもつ強化プラスチック管などの低耐荷力管を安全に長距離推進することを可能にした工法で、LLB工法名称の由来は、Method for Lying Pipes of Low Bearing Forceの略で、軸方向の耐荷力に弱い管の推進工法という意味です。

(2) 技術の概要と施工事例

【技術概要】

LLB工法は、図-7の構成図に示しますように、ケーシングによる推進力の伝達と新たに開発したグリッパ機構により、管に作用する負荷（推進力）を大幅に軽減し、軸方向耐荷力の低い強化プラスチック管等でも安全に長距離推進することを可能としたものです。グリッパ機構は、管内に設置したケーシングに装着されたグリッパチューブがエア加圧により膨張し、ケーシングと管の内面を摩擦力で結合します。これにより発進立坑の元押ジャッキの推進力はケーシングを通してグリッ



図一七 LLB工法構成図



写真一九 グリッパ機構

バが設置されたそれぞれの区間ごとの管列に伝達されるため、推進管に発生する最大負荷（軸方向圧縮力）はグリッパ設置区間の管外周摩擦抵抗抗力のみとなり、管がもつ基本的な軸方向の耐力に依りてグリッパ機構を必要個数配置すれば、どんな管材でも安全に長距離推進することが可能な工法です。LLB工法に関連した特許・実用新案は、前記したエンバイナー工法の基本特許を含め十数件の出願が行われています。

【施工事例】

本工法は、平成元年にグリッパ機構等のシステムが完成し、フィールドテストで推進力伝達の信頼性が確認され、以後、小口径管の下水道工事に採用されました。その一実施例を以下に紹介します。

〈工事概要〉

工 事 名：足立区保木間2・3丁目付近枝線工事
 発 注 者：東京都
 管 径：φ 600mm FRPM管
 延 長：106.3m
 土 質：シルト混り粘土
 土 被 り：6.0m

本工事の土質は、N値0の超軟弱地盤でありましたが、レベル・センタともに10mm以内の誤差に収まっており、極めて良好な施工精度でした。また、グリッパ機構も計画した推進力伝達能力を発揮し、推進管には過大な負荷は作用せず、推進力の分散効果が確認されました。

また、本工法は、アメリカ・ルイジアナ工科大において、小口径管推進工法の実物大による実証テストが行われ、LLB工法のグリッパ機構の能力が査定され、海外においても高い評価を得ました。

しかしながら、強化プラスチック管の管材費がヒューム管に比べると、かなり高価であったことや公共事業のコスト削減対策と相まって、採用されることが少なくなりました。

本工法の技術評価は、海外においても実証されており、管材費等の問題がクリアされれば、現在も低耐力管の長距離推進工法として十分に需要のある推進技術ではないかと考えます。

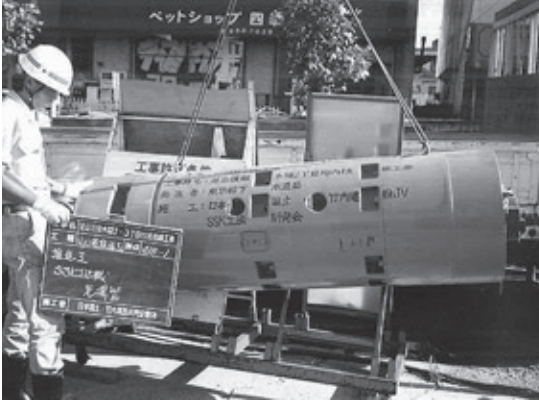


写真-10 LLB掘進機

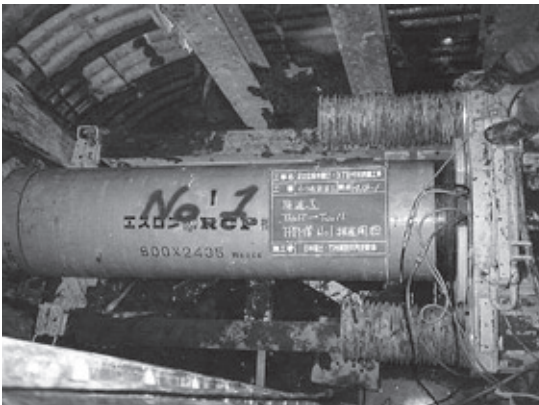


写真-11 推進状況

3. おわりに

本稿では、国内初の推進施工から当社が提案してきました数件の推進技術について紹介いたしました。混合推進工法やステーション工法は、まさに発想時期が余りにも早く、当時の需要には合致

しませんでした。しかしながら、これらのアイデアの中には時を得て開花したものも少なくありません。これは、当社が推進工法のパイオニアとして創業当初から推進技術の高度化に努めてきたことが要因の一つになっているのではないかと自負いたします。

今後も、先人達が築いてこられた「技術の機動」の名を汚さないように、技術の研鑽に努め、微力ですが推進工法の普及発展に貢献していきたいと考えます。

【参考文献】

- 1) 「機動建設工業株式会社の50年を顧みて」
平成9年11月 木村宏一
- 2) 月刊推進技術 Vol.22 No.1 2008 和田博文
「我が国の推進工法の歩み－機動建設工業の取り組み－」

○お問い合わせ先

機動建設工業(株)
技術本部

〒553-0003 大阪市福島区福島4-6-31
機動ビル

Tel : 06-6458-6183

Fax : 06-6545-0274

関東支店

〒114-0004 東京都北区堀船2-19-19

パレ・ドール王子ビル5階

Tel : 03-5959-2281

Fax : 03-5959-2287

URL : <http://www.kidoh.co.jp>