

超小口径推進工法の発達過程と展望

RECENT DEVELOPMENT AND OUTLOOK ON SUPER MINI -PIPE JACKING METHOD-

村 上 進*
By Susumu MURAKAMI

まえがき

地下空間を有効に利用するために地下には、地下鉄、上下水道、電力、ガス、通信などのトンネルやパイプラインが無数に走っており、これらはわれわれの生活動脈として重要な機能を果たしている。

地下空間の利用については増える傾向にあり、しかも地下深部へと及んでいる。

これらのトンネルやパイプラインの施工技術を見ると近年になって急速な進歩を遂げており、特に、下水道管渠の施工技術の進展が目にとまる。そこには、長期的な国策として推進されている下水道事業からのニーズが技術の進歩に拍車をかけているといえる。

下水道管渠の施工法を挙げると開削工法、推進工法、シールド工法に大別される。これらの施工法の使用比率は、図-1 に示す割合となっている。

下水道事業が大都市から地方の中小都市へ移行し、下水道の面整備の推進に重点が置かれるようになり、また分流式の下水道が増えるに従い、小口径管渠工事が増加している。

このような状況により管渠の施工法は、図-2 に示すように比較的簡便で経済的な中小口径向けの推進工法が多く採用されるようになってきている。

日本における推進工法(図-3)の発達過程をたどると当初は人力掘削による刃口推進工法から出発した同工法は、工事における品質、安全性、工期、経済性の追求の

もとに技術改良が積極的に行われ、機械化施工を取り入れたセミシールド工法

が誕生し、さらに、管渠の小口径化へのニーズに合わせた小口径推進工法が開発された。

小口径推進工法は、下水道工事だけではなく、水道、電力、ガス、通信などのパイプライン工事にも多く採用されており、その使用範囲を広げるため、

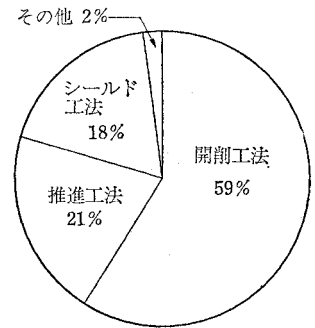


図-1 工法別建設費比率¹⁾

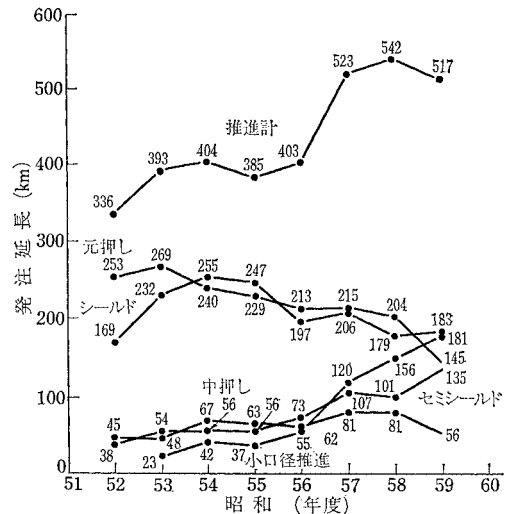
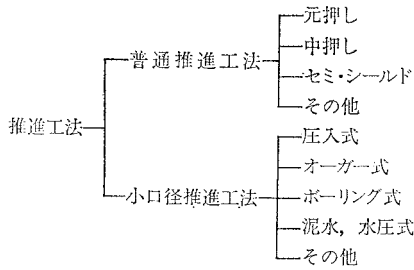


図-2 各工法発注状況¹⁾

* 正会員 (株) 奥村組技術研究所 次長
(〒559/大阪市住之江区浜口西 3-5-8)



図一3 推進工法分類

さらに、小口径化へと技術改良が進められ、超小口径管推進工法が開発された。

本文では、小口径推進工法の変遷と超小口径推進工法の技術開発の動向、今後の課題などについて述べる。

1. 小口径推進工法の変遷

わが国における推進工法の歴史は約 38 年前にさかのぼるが、昭和 40 年頃までは手掘式の刃口推進工法が主流であった。その後セミシールド工法とよばれる機械掘式の工法が多く採用されるようになった。

昭和 50 年 4 月、労働省労働基準局長の通達により、人が坑内（管内）に入って作業する推進管の口径が 800 mm を最小とするよう指導があり、これにより管口径 800 mm 以下の推進は機械化施工が主流となった。

一般に小口径推進工法とは、管口径 800 mm 以下の施工法を指しているが、小口径管の施工では、管内に人が入れないこと、掘削土の搬出が難しいこと、掘削切羽の状態が確認しにくいこと、掘削具および付属設備の小型化が必要であることなど多くの問題がある。

工法の種類は表一に示すように 30 数種類ある。

これらの工法は協会組織のもとに施工されており、その数は 12 協会ほどある。

昭和 50 年代に入ると工法の技術開発は急速に進展し、今もなお開発が積極的に行われており、従来難しいとされていた滞水性、崩壊性の地盤や最も施工が困難な砂礫地盤に対応できる工法が開発され、また、施工精度面も飛躍的に向上するなど、当工法に対する信頼性は日増しに高まっている。

この工法を掘進方法により大別すると、圧入方式、オーガー方式、ボーリング方式、泥水方式、其他方式に分けられる。

これらの施工実績¹⁾ (昭和 59 年施工延長) は、オーガー方式、圧入方式、ボーリング方式、泥水加圧等の順になっており、その比率は約 46 : 38 : 9 : 7 である。

2. 超小口径推進工法の技術開発

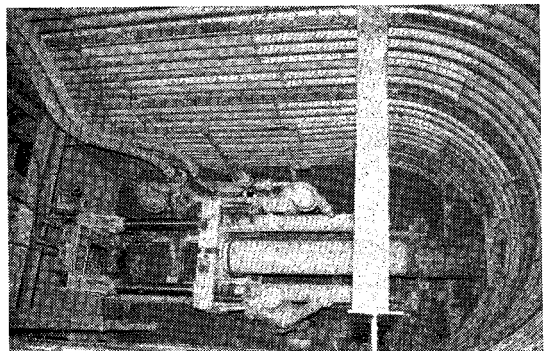
表一1 小口径推進工法の種類

	一 工程 式	二 工程 式
庄 入 式	1. グルドマート	1. アイアンモール
	2. ニューマチックパンチャー	2. アースアロー
	3. ベネットキャリア	3. TK 式導管推進
	4. アイアンモール	4. フロンティアスーパー
	5. アースアロー	5. ベネットキャリア
	6. DK 推進	6. グルドマート
	7. NTT/D-301	7. PBP
	8. PBP	
オ ー ガ ー 式	1. ホリゾンガー	1. スモール
	2. TPM	2. オーケーモール
	3. ケーモー	3. OHA/M
	4. サンドウォーム	4. ホレッター
	5. アースパイロット	5. フロンティアスーパー
	6. PI-CON	6. カノー NSP
	7. フロンティアスーパー	7. SST
	8. カノー NSP	
	9. ダグモール	
ボ ー リ ン グ 式	1. AH	
	2. カノー NSP	
	3. OSH	
	4. SH	
泥 水 水 圧 式	1. オカマス (OCMS/PS)	1. スーパーミニ
	2. テレモール, テレマウス	2. アイアンモール
	3. アングルモール	3. オーケーモール TWS
	4. PSD	4. HB スモール
	5. サンドウォーム	
そ の 他	1. フロンテジャッキング	
	2. ノースバイラル	
	3. 弧状推進	

(1) 技術開発ニーズ

人が管内に入らずに施工できる工法として、管口径 800 mm 以下の管布設用に開発された小口径推進工法は、全国的な下水道事業において多くの実績をあげたが、下水道が面整備に移行するに従い、さらに、小口径化の傾向は進み、その延長も増加したため、超小口径推進工法の開発ニーズが高まった。

超小口径推進工法については、特に定義づけはされていないが、本文では従来の小口径推進工法で施工困難な管口径 300 mm 以下を対象とした工法を指すことにし、以下にそれについて述べる。



写真一1 施工状況

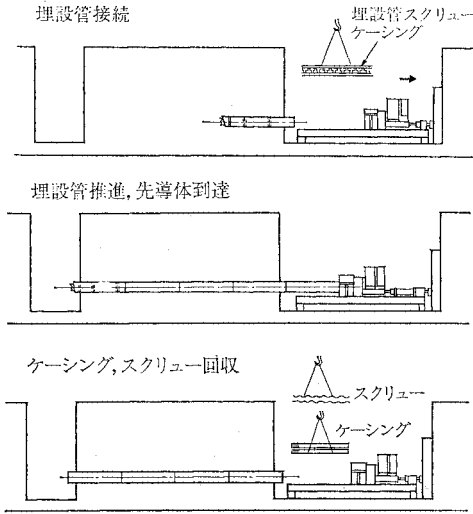


図-4 一工程式施工手順

径口管 300 mm 以下の推進施工においては、次のような問題点が挙げられる。

- ① 先導管の方向修正や測量が難しく、精度よく管を布設しにくいこと
- ② 先導管に掘削具を装備しにくいこと
- ③ 掘削土の搬出の適否は地盤条件（礫層、粘土層など）により左右されやすいこと
- ④ 管強度面から長距離施工がしにくいこと
- ⑤ 管径に比べて施工コストが割高となること

いずれにしてもこれらの問題の解決は難しく、したがって工法の適応範囲は限定される。

(2) 工法の種類

現在実用されている主な工法を各方式別に述べる。

a) 圧入方式

先導体に所定の埋設管を接続し、油圧ジャッキで全体を推進する一工程式（図-4）と、先導体に仮管を接続して推進した後、仮管に埋設管を接続してもう一度推進することにより、仮管と埋設管を置き換える二工程式（図-5）がある。

先導体は、土を排除するためにエアピストンを備えたもの（図-6）と、突起状ヘッドを備えたもの（図-7, 8）があり、いずれも地山を押し広げて先導体を推進させる。

これらの先導体には、掘進方向を計測して制御できるものもある。

この方式は、小口径管用として早くから開発されており、昭和 49 年に衝撃式圧入工法として水道管、電話ケーブルなど管径 350 mm 以下の鋼管埋設に採用されてい

る。

翌年には管口径 250 mm の下水道管を対象に粘土、シルト層などの軟弱地盤で推進距離 50 m を目標に先導体に方向修正機能を備えた装置が開発されている。以後、施工実績を重ねるにつれ、掘進が難しいとされてきた硬い地盤や、滞水砂層での施工を可能にするため、掘削機構を備えた先導体、水圧バランス機能を備えた掘削装置も開発され、地盤条件に合わせて機種を選定できるようになった。

さらに、施工できる最大口径管は 600 mm 程度まで拡大され、推進距離も延びている。

b) オーガー方式（図-9）

先導管に埋設管または仮管を接続し、管内にオーガーを備えたスクリーを挿入し、オーガーとスクリーを回転させて掘削と土の搬出を行い推進する方式で、一工程式と二工程式がある。

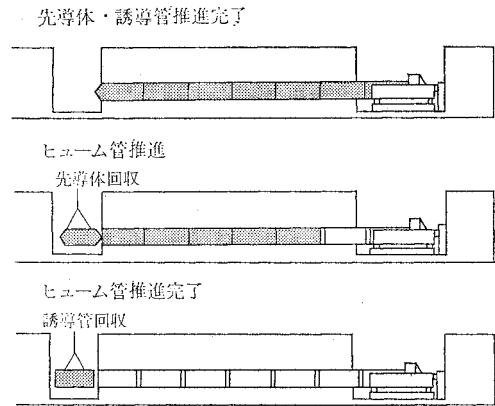


図-5 二工程式施工手順²⁾

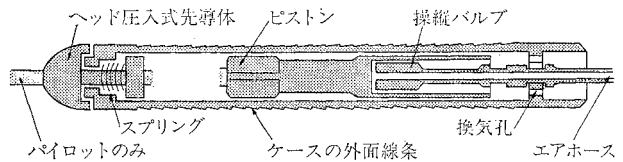


図-6 エアピストンの先導体¹⁾

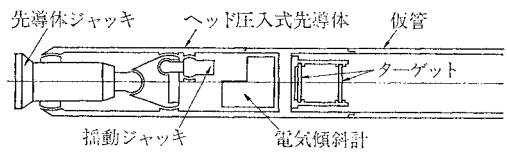


図-7 突起状ヘッドの先導体¹⁾

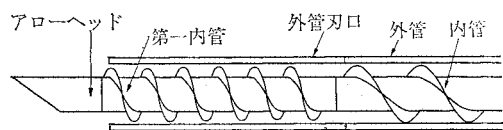
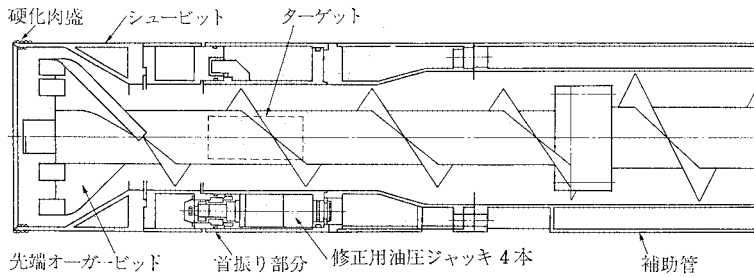


図-8 先導体³⁾

図-9 オーガー方式⁹⁾

この方式は、昭和 38 年に初めて国鉄の地下道施工(管径 600 mm)に採用されて以来、本格的に技術開発されたのは昭和 46 年頃からである。当初は施工精度をあまり必要としない水道管、ガス管などの鞘管布設やパイプルーフなど、仮設的な施工を目的としたものから開発が進められた。その後、小口径管工事の増加に伴い、推進距離 50 m を目標にし、測量と方向修正が可能な工法が開発された。

また、当初は滞水砂層や礫地盤では補助工法を併用していたが、昭和 50 年代後半になると掘削ヘッド部の改良や泥水の利用などにより、補助工法をほとんど必要としない工法に改良された。

さらに、昭和 60 年代に入ると、玉石や大径礫のある地盤を掘進できる工法として岩盤削孔用ビットを応用した先導管が開発され、実用段階に入りつつある。

施工可能な最小管口径は、ヒューム管で 250 mm、鋼管で 300 mm が限度である。

推進距離は通常 50 m 程度であるが、高性能の測量装置とパソコンによる方向制御を備えた仮管方式では 100 m 程度まで可能である。

c) ボーリング方式(図-10)

鋼管の先端に切削ビットを取り付け、鋼管を回転させて地山を掘削し、掘削土は圧力水や圧縮空気で管外へ搬出しながら推進することを基本とした方式である。

鋼管だけを回転させる一重管式と、鋼管内にケーシングロッドを挿入してこれを回転させる二重管式とに大別される。

この工法は垂直コアボーリング工法を応用したもので軟岩、砂礫層などの硬い地盤や埋設物の存在する場合に適しており、適用地盤範囲は広い。

方向修正が困難なために推進距離は 30~50 m くらいであるが、現在掘進精度を向上させるため、方向制御および測量方法の改良が行われており、施工実績は多い。

d) 泥水、水圧方式(図-11)

泥水シールド機を先導体とし、後方に埋設管または仮管を接続し、シールド機の掘削室に泥水を圧送して泥水圧で地下水を抑えながらカッターを回転させて掘削し、掘削土を環流泥水によって搬出しながら全体を推進する方式である。これには一工程式と二工程式がある。

この方式は、泥加水圧式セミシールド工法を小型化したもので、このセミシールド工法は昭和 39 年に水道管の鞘管工事に採用されて以来、多くの実績を重ねるとともに、その間に技術改良が行われ、昭和 52 年に小口径用として遠隔操作で推進できる工法に実用化され、さらに、昭和 56 年にシールド機の掘進、掘削土の搬送、推進管の圧入などすべてが自動運転できるまでに至っている。

このようなセミシールド工法を超小口径化した当方式は、泥水圧で地下水を抑えて掘進するために地盤沈下が少なく安全性の高い工法として高地下水圧の滞水地盤、非常に軟弱な地盤など広い範囲に採用されている。

この方式は開発されてから日も浅いため、実績は少ないが、最近では玉石や大径礫があっても掘進できるようになりつつある。また、圧入方式、オーガー方式、ボーリング方式のそれぞれに泥水方式の長所を応用した改良工法(水圧バランス方式)も出現している。

適用管径は最小管口径 250 mm まで可能である。推進距離は 100 m 程度の長距離推進ができ、測量や方向制御が確実にできるため掘進精度もよい。

e) その他方式(図-12)

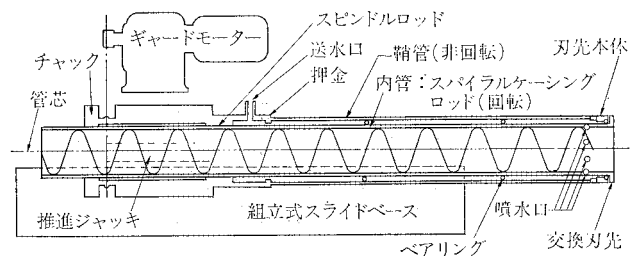
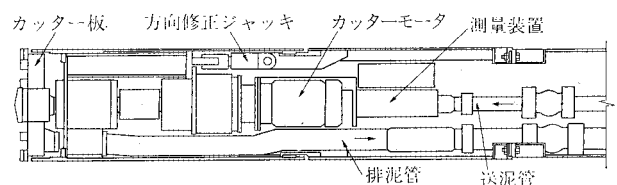
図-10 ボーリング方式⁹⁾

図-11 泥水方式

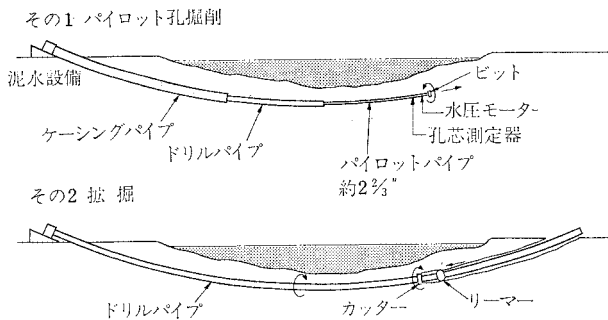


図-12 弧状推進工法の施工手順*

上記に含まれない方式としては、牽引工法、弧状推進工法がある。

牽引工法は、発進、到達立坑間に水平ボーリングでPC鋼線を通しておき、到達側の牽引ジャッキで刃口管と推進管を牽引する工法である。この工法は小口径に使用されることは少ない。

弧状推進工法は、石油掘削ボーリング技術を応用したもので、昭和54年に掘削径50mm、推進距離23mのケーブル布設に施工された。その後、長距離化への技術改良と外国との技術提携により、昭和58年に管径300mm、推進距離720mの水道管布設に施工されている。

この工法の用途は、水道、ガス、地下ケーブル、原油等パイプラインなどの布設が挙げられる。

3. 今後の展望

超小口径推進工法には各種各様の方式があり、開発されてから日が浅いため多くの問題点や課題が見受けられるが、あまりにも種類が多いために全部を把握することは難しい。したがって、総合的にみて重要と思われるものを選び、それを以下に挙げる。

(1) 玉石、砂礫対策

小口径化するほど掘削土の搬出が困難となる。推進管よりも大きな玉石があれば当然ながら搬出は不可能であり、何らかの対策が必要となる。

ボーリング方式の場合は、推進速度は遅くなるが、切削ビットで対処できる。ボーリング方式以外では、搬出スペースが狭いため、玉石を細かく破碎するか、地中へ押し退けるしか方法はない。オーガー方式、泥水方式では、すでに、破碎ビットを使用する方法が開発されているが、大きな成果を挙げておらず今後の課題である。

(2) 長距離施工と精度の向上

長距離施工の阻害要因としては、推進管の強度と測量とにある。

推進管がヒューム管の場合、その強度からおおのずと推進可能距離が決まる。何らかの手段により推進抵抗を減らすか、管の強度を高めるかの方法が考えられる。その点二工程式のように仮管を使用する場合は、高強度の仮管にすることでこの問題は解決される。

一方、測量方法については高性能レーザートランシットを使用すれば、現状でも100mくらいは測定可能である。

それ以上の距離では、光学測量以外の計測方法を開発する必要がある。

施工精度の向上については、現在、掘進方向の制御を自動化することで高精度を保持しているものがあるが、全般に信頼性に乏しい状況にある。ボーリング方式やオーガー方式になお一層の改良を求められる。

長距離施工は、施工コストの低減と市街地における工事用地の問題解消に役立つため、早期に実現したいものである。

(3) 推進管の改良

小口径推進用鉄筋コンクリート管を推進管として使用する場合、その強度から推進距離は決められる。そのため施工コストのアップにつながる。

推進管は強度とともに寸法や継手構造が規格化されている。しかし、管長をもう少し短くすることにより立坑の縮小、施工機械の小型化ができ、また管継手構造を腐食の少ない材質にして一体化構造とする、小口径につき、管の材質をコンクリート以外のものにするなど、施工性、経済性、耐久性について再検討が望まれる。

(4) 施工技術者の質の向上

施工には施工条件に合った工法の選定や十分な知識と経験(熟練)を必要とする。小口径施工であるために施工上のトラブルも多く、施工の良否はオペレーターなどの施工技術者に左右されやすい。

そのため、技術者の養成、指導などにより質の向上を図るとともに、オペレーターのミスを少なくして施工の信頼性を高めるため、施工法の標準化、機械操作の自動化、実績データの蓄積が必要である。

(5) 立坑の改良

施工は、狭隘な場所で行われることが多く、立坑の設置に支障をきたすことが多い。

立坑寸法の縮小、立坑築造工期の短縮等の立坑の改良に関する提案は多いが、解決するまでに至っていない。

立坑寸法の縮小については、推進管長の縮小、推進機の小型化が必要になる。

立坑築造工期の短縮については、立坑寸法の縮小にも関係があるが、掘削、土留め、マンホール工の短縮がポイントとなる。

改良案として、既製のマンホールを沈設し、その中から管推進施工を行う方法が考えられる。

(6) 施工基準の確立

管路等の設計は施工も考慮して行われる。しかし、施工法については種類が多いうえ、技術改良の過渡期にあるため、施工基準が確立されていないようであり、早期実現が望まれる。

あとがき

パイプラインの地下利用は、既存の上下水道、ガス、電力、通信以外に、高度情報網の整備による地下ケーブル、電線の地中化、中水道、地域冷暖房、物流、廃棄物

処理パイプラインなどの新規のものが考えられ、今後、小口径管施工は今以上に増えることが予想される。

一方、施工技術については、開発されて日も浅いことからニーズに適合したものへと改良されるであろうし、また、工法の選定も容易になると考えられる。

それには、当工法に関係する企業者、設計会社、機械メーカー、施工業者らになお一層の技術開発への努力を期待したい。

参考文献

- 1) (社) 土木学会・土木施工研究委員会：第2回新しい材料・工法・機械講習会講演概要 一小口径管の施工と維持補修一，1986年3月。
- 2) 石橋，ほか：最近の推進工法 ⑨，総合土木研究所，1985年9月。
- 3) 石川：アースアロー工法について，建設機械，Vol. 21，No. 2，p. 31，1985年。
- 4) 関田，ほか：最近の推進工法 ⑧，総合土木研究所，1985年6月。

(1986.7.14・受付)

●定評ある土木学会の海外シリーズ●

1 海外建設工事の契約・仕様

6 000 円 会員特価 5 400 円 (〒 350)

McGraw-Hill 社刊行の名著 Contracts, Specification and Relations を中心に研究会を行った成果を公表

2 建設プロジェクトの進め方

3 300 円 会員特価 3 000 円 (〒 350)

国際的に評価の高い ICE(英国土木学会)編の Civil Engineering Procedure の対訳および解説

3 建設プロジェクトの分析と評価

6 000 円 会員特価 5 400 円 (〒 350)

ICE の An Introduction to Engineering Economics を中心に研究会を行った成果を公表

4 CESMMセスム・土木工事標準検測方法

5 600 円 会員特価 5 000 円 (〒 350)

ICE の Civil Engineering Standard of Measurement 2nd EDITION (1985) の対訳版，国際入札のためのガイドブック