

(Ⅲ-11)

ウォータージェット掘削による刃口推進工法の施工

Tunnel Construction by Blade-Propulsion Method with Application of Water Jet Excavation

株式会社 フ ジ タ 須 田 祥 二*
桑 野 光 男*
和 気 輝 幸**
○大 井 隆 資**

by Shouji SUDA, Mituo KUWANO, Teruyuki WAKI, Takatugu ŌI

トンネル工法の中で最も施工実績が多い推進工法は、市町村での下水道整備事業が積極的に展開されている今日、さまざまな技術開発が実施されている。その中でも、現在の深刻な問題である3Kイメージ、技術者や熟練工不足、作業員の高齢化問題を解消するために省力化、自動化等への技術開発が積極的に進められている。

今回、刃口推進工法においての問題点である「小断面管内での人力掘削」についてVE手法を活用し、ウォータージェット掘削工法を開発、適用した。その結果、労働環境の改善、省力化、生産性の向上等を図ることができたのでその概要と適用事例を紹介する。

【キーワード】ウォータージェット、推進工法、VE

1. はじめに

推進工法は、立坑に推進力の反力受けを設置し、既製管を推進ジャッキで土中に圧入させ、管内から土砂の掘削、搬出を行いながら、順次、管を継ぎたして管路を埋設していくものである¹⁾。

我々は、小断面刃口推進工法の問題点である人力掘削による悪い作業環境、少ない日進量等を解決する新工法として、「ウォータージェット（超高压水）掘削」の研究開発、実用化に取り組んだ。

本報文は、現場マネジメントの一環として労働環境の改善、生産性の向上の観点から実施した新工法の開発経緯、工法概要、施工結果、今後の課題等について報告する。

2. 新工法開発の動機と経緯

(1) 開発動機

現在、推進工法は、河川、鉄道などの横断ばかりでなく、市街地における管理設の有効な工法として、多く採用されている。

図-1に推進工法の分類²⁾、図-2に管きょ特殊工法発注延長の推移³⁾を示す。

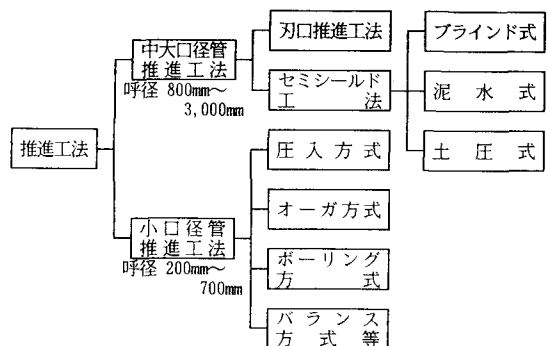
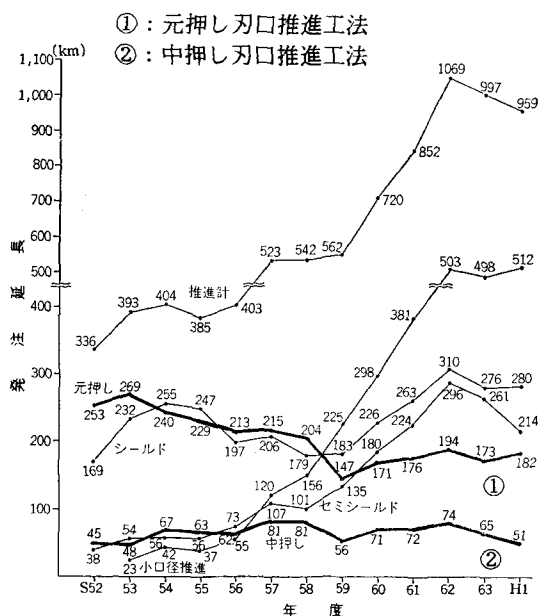


図-1 推進工法の分類

* 関東支店土木工事部 03-5411-3129

** 土木本部技術部 03-3796-2262



このうち刃口推進工法は、推進管の中に人が入り、切羽を人力掘削した後に立坑のジャッキで推進管を順次押し込む工法で、推進工法の原型であるが、施工条件等から現在でも数多く採用されている。(図-34参照)

しかし、刃口推進工法の中でも管内が小断面の場合には、小型スコップを用いて、しゃがんでの人力掘削となり図-4に示すような問題点が指摘されている。

これらは、建設業が現在直面している3K（きつい、汚い、危険）イメージの代表的なものでもあり、今回、現場からも問題提起があった。

(2) 開發経緯

前述の問題点を克服するため、図-4に示すようにV E活動(Value Engineering)を実施した。

そして、「土を掘る」という目的機能に着目してブレイン・ストーミングによるアイデアの発想を行った結果、ウォータージェット掘削工法を提案し、研究開発、採用するに至った。

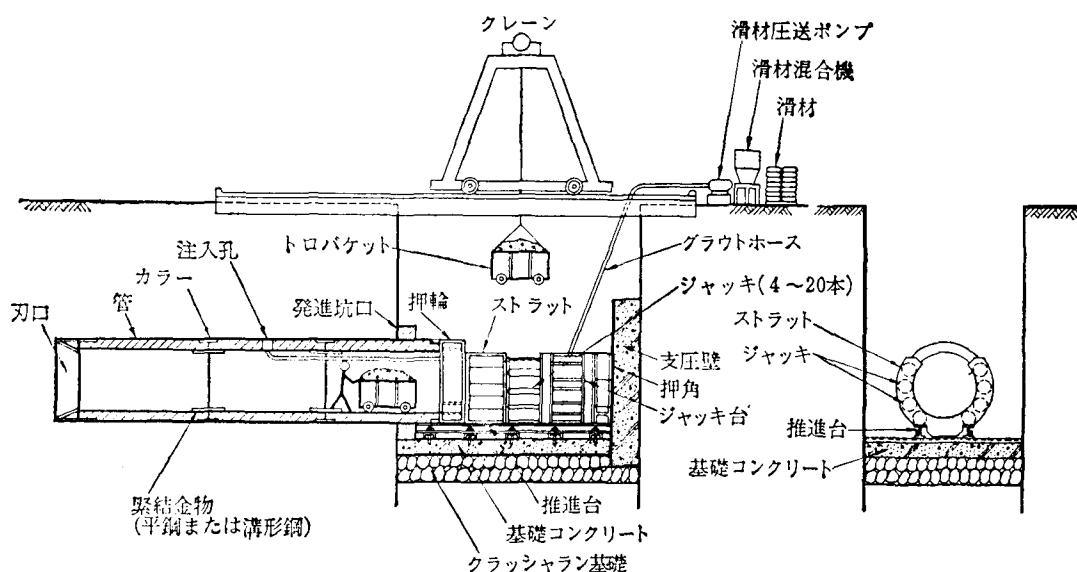
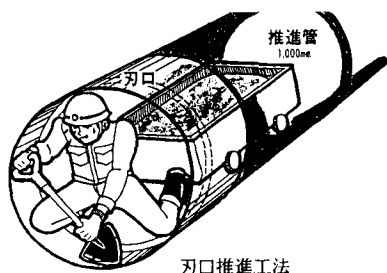


図-3 元押し刃口推進工法（参考図）

従来案

小断面管内の人力掘削



刃口推進工法

《問題点》

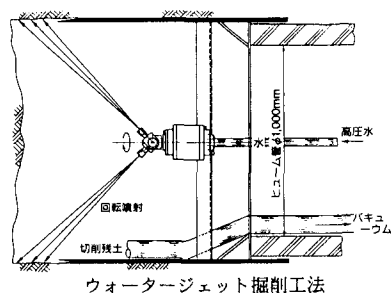
- ①安全性が劣る
- ②作業環境が悪い
- ③切羽交代人員が必要である
- ④工期が長い
(連続推進が困難→日進量ダウン)

【目的】
土を掘る

改善案

アイデア

- ・機械で掘る
- ・エアーで掘る
- ・水で掘る
- ...



ウォータージェット掘削工法

《改善効果》

- ①安全性向上
- ②作業環境の改善
- ③省力化
- ④工期短縮
(連続推進が可能→日進量アップ)

図-4 V E (Value Engineering) 内容

3. ウォータージェット掘削工法

ウォータージェット掘削工法（以下、本工法とする）は、小口径下水管路を清掃する方法を応用するもので、基本原理は刃口に取り付けた2つの噴射口

を有するノズルより超高圧水を回転噴射させて前方地山を切削し、掘削土砂をバキューム排出するものである。掘削システム概要を図-5に示す。

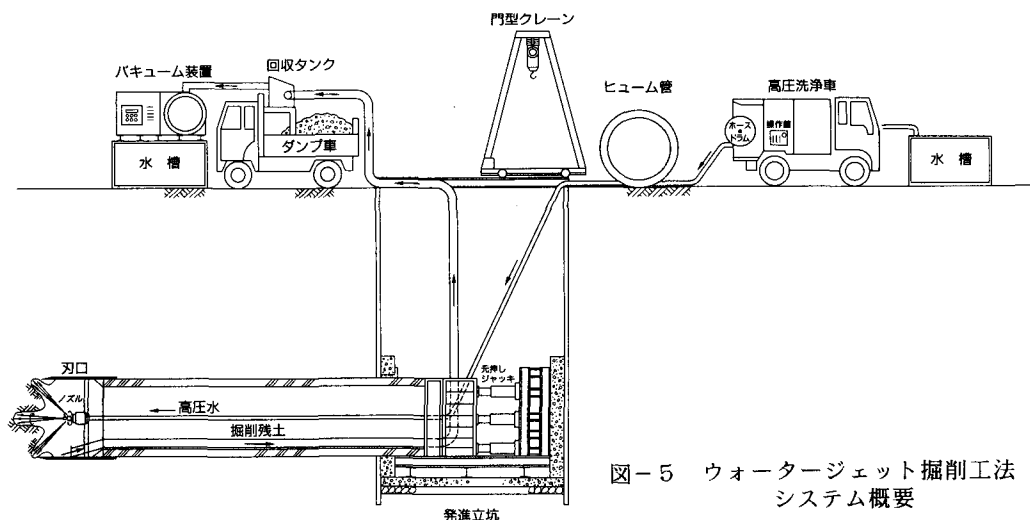


図-5 ウォータージェット掘削工法システム概要

（１）本工法の特長

次項に述べる実施工にて検証できた特長として次の点が挙げられる。

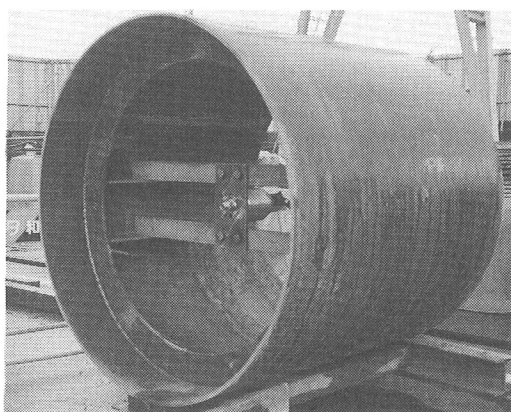
- ① 超高圧水による掘削であり、人力掘削を必要としない。
- ② バキュームによる配管排土であり、連続的な推進が可能である。
- ③ 掘削機構が噴射ノズルとバキューム装置であり、複雑な機構を必要としない。
- ④ 刃口推進工法と同様に、刃口、掘削機構の回収、転用が容易である。
- ⑤ 必要に応じて刃口推進工法への変更が可能である。

（２）掘削機器

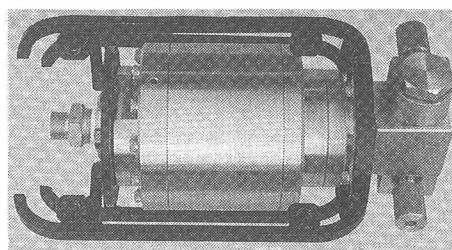
実施工で使用した掘削機器は次のとおりである。

① 刃口（写真－１）

特別製作 $\phi 1,234\text{mm} \times 1,200\text{mm} \times 12\text{mm}$



写真－１ 刃 口



写真－２ ターボノズル

② ターボノズル^{５)}（T-60型：写真－２）

最高使用圧 (kgf/cm ²)	最大流量 (ℓ/min)	回転速度 (r.p.m)	本体寸法 (mm)	重 量 (kg)
600	200	10～100	125×220	19



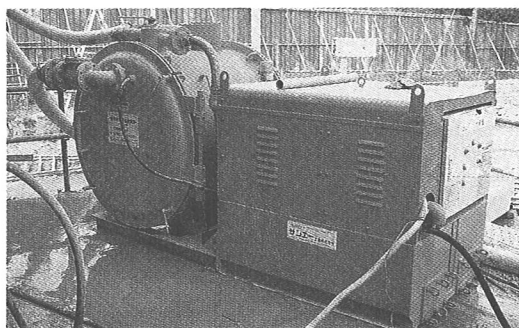
写真－３ 高圧洗浄車

③ 高圧洗浄車^{５)}（1503P50：写真－３）

最 高 圧 力 (kgf/cm ²)	常用使用圧力 (kgf/cm ²)	噴 出 水 量 (ℓ/min)
195	170	227

④ バキューム装置^{６)}（SVC-11：写真－４）

真 空 ポンプ	最大吸引量 (m ³ /min)	排 水 ポンプ	吐 出 量 (ℓ/min)
200V, 3相, 11kw	6	200V, 3相, 6kw	1,000



写真－４ バキューム装置

4. 実施工への適用

(1) 工事概要

本工法を適用した工事は、セグメント外径4800mmのシールド工法を主とする埼玉県発注の下水道工事である。

工事特徴の一つとして、図-6に示すようにシールド工法の発進立坑横に大型地下導水路とその支持杭(φ600mm 鋼管)があり、この14m区間は下水道の計画高さの関係から杭の間(1,650mm)をくぐり抜けるような形状にて計画する必要がある。

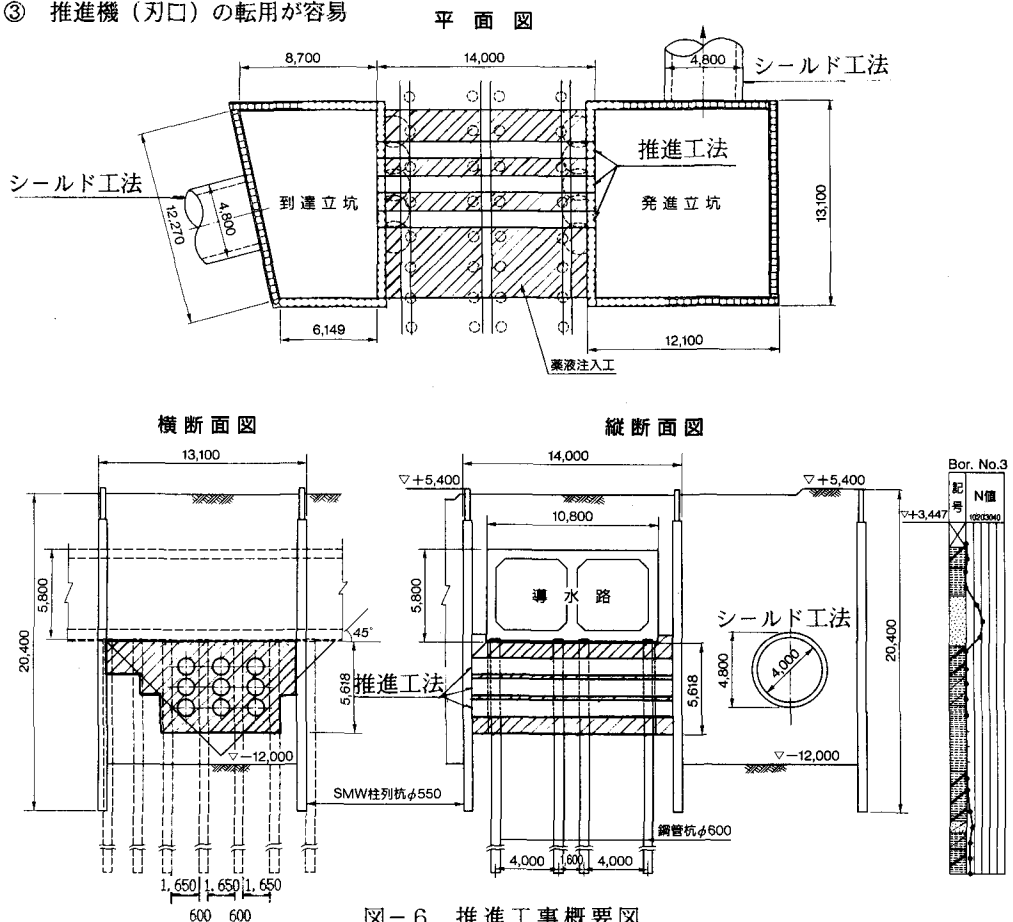
このため、本シールド工法での施工は困難で、管外径1200mmの推進工法が採用されている。

そして、当区間の施工法は次のような理由から刃口推進工法となっている。

- ① 支持杭等の支障物への対応が可能
- ② 1スパンの距離が短い
- ③ 推進機(刃口)の転用が容易

推進工事の概要を以下に示す。

- ・ 工事名称：荒川右岸流域下水道
新河岸川幹線管渠築造
16工区5号工事
- ・ 発注者：埼玉県
- ・ 工事場所：埼玉県志木市
- ・ 施工時期：平成3年7月～8月
- ・ 施工方法：刃口推進工法
- ・ 施工規模：合成鋼管(管内径φ1,000mm)
L=14m (1スパン)
3条3段合計9本
- ・ 土質：砂質シルト
- ・ 補助工法：薬液注入工法(全断面)



(2) 施工状況

推進施工部は、導水路下の地山緩み防止と刃口の切羽自立を図る目的で水平薬液注入を事前に実施した。

推進工事は、図-7に示すように下、中、上段の順で施工することとし、各段毎に作業床の盛替えが必要であった。施工は、下段の3本で支持杭に当たらないことを刃口推進工法で確認した後に、残り6本（中段、上段）について本工法と刃口推進工法の施工性を比較した。（写真-5参照）

刃口推進工法的人力掘削状況、本工法によるウォータージェット掘削状況を写真-6、7に示す。

写真-7は、送水圧 150(kgf/cm²)，水量 100 (ℓ/min) の切削状況で、高圧洗浄車を立坑上に配置してこの操作を行った。

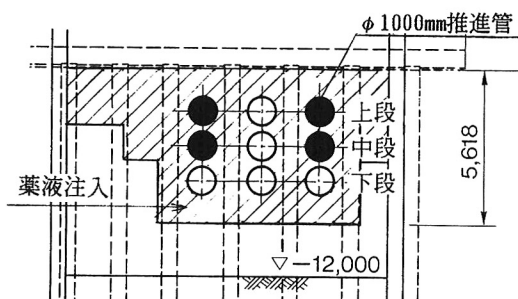


図-7 3条3段施工結果（横断面図）

- : ウォータージェット掘削工法
- : 刃口推進工法

（中、上段とも、刃口推進工法が1本施工する間に本工法は残り2本の施工が可能であった）

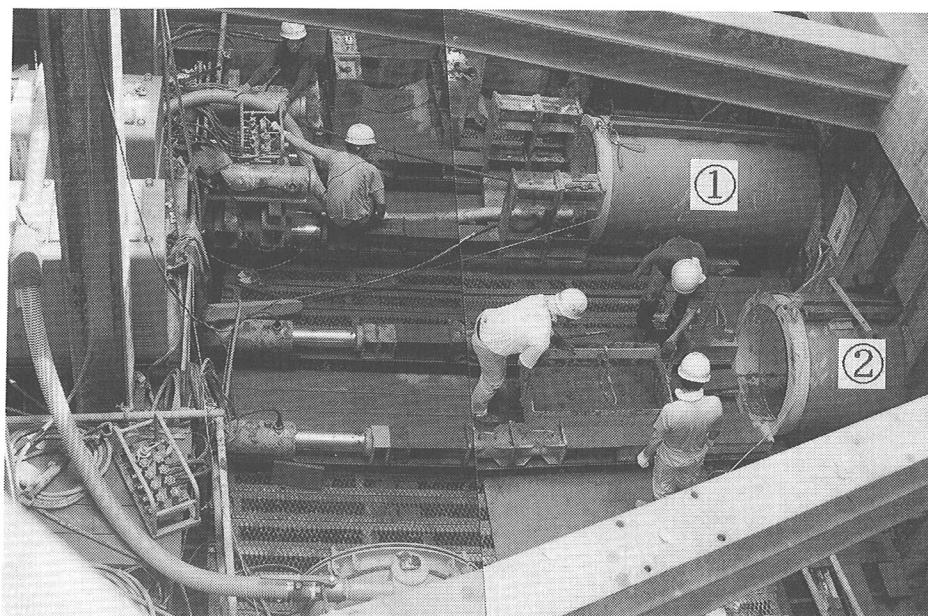


写真-5 中段施工状況

- ① : ウォータージェット掘削工法
- ② : 刃口推進工法

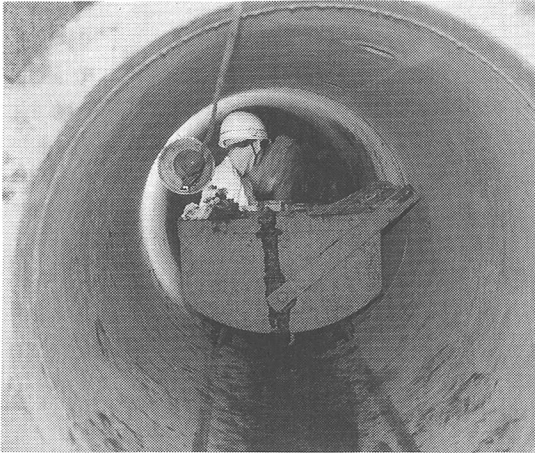


写真-6 刃口推進工法

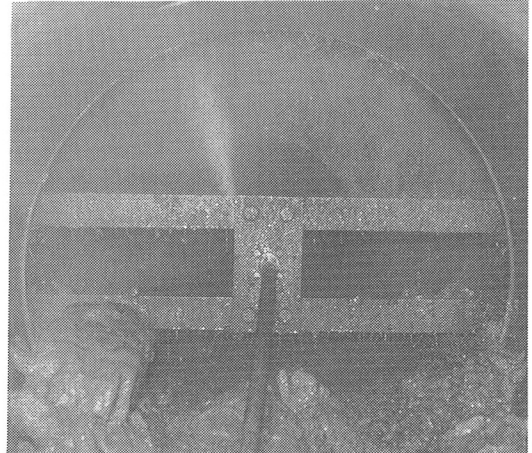


写真-7 ウォータージェット掘削工法

(3) 地山切削方法

超高压水の噴射方法について、ノズルの形状、噴射位置、角度等を種々試験した。

その結果、一般的に次の2つのタイプが地山切削方法として有効的であると判断した。

①Aタイプ

地山が固く、刃口の貫入抵抗が大きいような場合に、刃口前方の地山を超高压水で直接切削する。切削土砂は大まかになる。

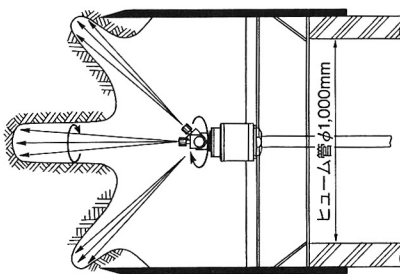


図-8 Aタイプ

②Bタイプ

地山が軟弱で、直接地山に噴射すると余掘りが大きくなるような場合に、一度刃口に超高压水を反射させて、推進に伴い刃口内に入ってくる土砂を切削する。切削土砂は細かくなる。

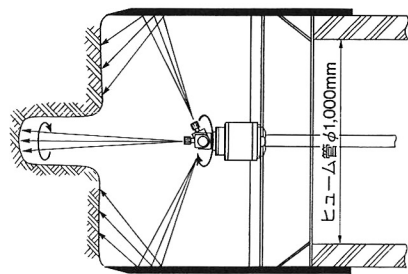


図-9 Bタイプ

本工法の最初の1本目で両タイプについて施工比較した結果を表-1に示す。この結果から、本工事では余掘り、切削排土状況の面で優れているBタイプを採用した。

表-1 切削方法比較

	推進スピード (mm/min)	外周部 余掘り	切削土砂 排土状況
Aタイプ	80～100	有	塊状態となり、 排土状況が悪い
Bタイプ	70～90	無	細い状態となり、 排土状況が良い

5. 施工結果

本施工は、掘削地山が砂質シルトといった掘削、排土上の好条件も考えられるが、本工法のシンプルな掘削機構で最適な切削方法を研究し、効果的に稼働させたことによる施工結果は次のとおりである。

- ① 本工法は刃口部での人力作業をほとんど必要とせず、狭隘な管内での安全性の向上と人員削減が可能となった。
- ② 本工法は連続的の推進が可能であり、刃口推進工法よりも日進量で2倍以上の成果を上げ、図-7に示す結果であった。
- ③ 切削方法Bタイプを採用することにより、管周辺部の余掘りを無くし、導水路の沈下を抑制できた。

そして、VE手法による改善効果は次のとおりである。

☆ 改善効果

- ・安全性の向上
- ・省力化施工
- ・生産性の向上
- ・導水路沈下の抑制



- ◎ 延10日の工期短縮
- ◎ C D 率 17 %

(◎：中、上段の6本に関して)

6. 今後の課題と展望

今後、推進工法の分野にて本工法をさらに普及させるうえの課題として、次の点が挙げられる。

- ① 効率的な残土排出、処理
- ② 礫層への対応
- ③ ノズルの自動制御
- ④ 地上設備のコンパクト化

なお現在、立川礫層の刃口推進工事（ $\phi 800\text{mm}$ ， $L=67\text{m}$ ）で本工法を実施すべく計画中である。

そして将来的には、本工法の特徴にさらに改良を加え、次の様な地中拡幅工法のパイプルーフ掘削⁷⁾や、小口径管推進工法、異形断面シールド工法への適用実現にむけて鋭意努力していく予定である。

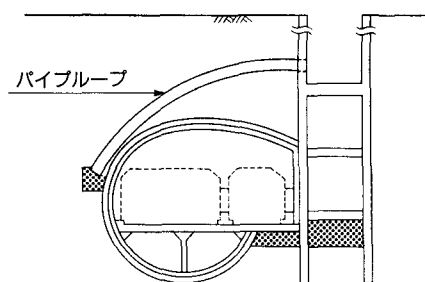


図-10 地中拡幅工法

7. おわりに

建設業への社会的ニーズがますます多様化する今日、現場マネジメントの効率的推進がより一層必要とされてきている。

今回、現場が直面する課題に対して若手職員を中心に、工事の問題点摘出、改善方法の提案を自由奔放な形で実施した。その結果、新工法の開発につながると共に大きな効果を得ることができた。

本事例をとおり、従来の施工方法等を見直し創意工夫するといった前向きな取り組み姿勢が今後さらに重要になってくると痛感するものである。

【参考文献】

- 1) 土質工学会：推進工法の調査・設計から施工まで
- 2) 小山隆紹：下水道管渠工事の施工法について
月刊推進技術 VOL.5・NO.5
- 3) 村上 健：下水道の管きょ技術（最近の動向）
土木技術 VOL.46・NO.4
- 4) 日本下水道協会：下水道推進工法の指針と解説
- 5) 東京いすゞ自動車株式会社：ターボノズル，旋回
ディスク技術資料
- 6) サンエー工業株式会社：SVCスパーバキュームシュター資料
- 7) BBS研究会：分岐合流部拡幅工法技術資料
1992年