

# J-PLAD (大径パイプライン弧状錐進) 工法の開発

## Development of Jambo-Pipe Line Arch Drill (J-PLAD) Method

小野 敏 孝<sup>(1)</sup>  
Toshitaka ONO

長谷川 久<sup>(2)</sup>  
Hisashi  
HASEGAWA

野 崎 啓 太<sup>(1)</sup>  
Keita NOZAKI

義 若 秀 彦<sup>(4)</sup>  
Hidehiko  
YOSHIWAKA

大 沢 信 一<sup>(3)</sup>  
Shinichi  
OOSAWA

作 田 憲 一<sup>(3)</sup>  
Kenichi  
SAKUTA

佐 野 章 裕<sup>(3)</sup>  
Fumihiko SANO

### 抄 録

河川や港湾等の横断部のパイプライン敷設で、多くの実績があるPLAD工法(パイプライン弧状錐進工法)の技術をベースにした新しい概念の非開削工法(J-PLAD工法)の開発に1993年より取り組んでいる。本報告では、J-PLAD工法の技術内容及び昨年行った実規模フィールド実験の概要とその結果について述べた。フィールド実験では、掘削・排土から管敷設に至るまでのシステム全体の施工性を検証し、施工ノウハウを構築すると共にこの工法を用いて管径2000mm程度の弧状のトンネル構築が可能であるという結果を得た。

### Abstract

Since 1993, we have been engaged in developing a non-open-cut method (J-PLAD method) which has a new concept on the basis of PLAD method, the horizontal directional drilling method for pipeline crossing which is an arcwise jacking method for laying down pipeline transversing river or harbor and has given many actual results so far. In this report, the technical substance of the J-PLAD method, the outline of field tests conducted on an actual scale in 1994 and the results of these tests are described. In the field tests, points at issue were inspected with regard to the execution of its whole system including excavating, earth removing, pipe laying and so on together with constructing its executing know-how, and it was concluded that an arcwise tunnel with the arc in about 2,000mm could be laid down by applying this method.

### 1. 緒 言

パイプライン弧状錐進工法(Pipe Line Arch Drill Method: PLAD工法)とは、石油掘削の曲線掘りの技術に応用したもので、地上から斜めに掘り込み、河川や港湾等の障害物の下を通過して反対側の地表に斜めに到達する滑らかな曲線状の孔を掘削して、パイプラインをその中に敷設する工法である。特長としては、

- (1) 一挙に1500mにも及ぶ長距離の錐進が可能である。
- (2) 作業は全て地上で行い、坑内や管内での作業がないため極めて安全性に優れている。
- (3) ウェルポイント等の補助工法や浚渫が不要なため、地盤沈下、地下水枯渇、河川や海洋の汚濁などの環境公害が無い。
- (4) 立坑構築が不要であるため、工期の短縮ができ、経済的である。

等が挙げられる。

PLAD工法が最初に実工事に適用されてからおよそ15年が経過し、施工ノウハウの蓄積と数々の技術改良を実施して適用範囲の拡大を進め、施工実績は現在までに27件に達している。工事実績とし

ては、管径50~1000mm、延長40~1380mと様々で、この工法の適用可能工事規模(図1参照)である管径1000mmまで、延長1500mまでの小・中径管敷設の実績を確実に伸ばしてきた。

新日本製鐵では、更に工法の大径化ニーズに応えるため1993年より管径2000mm(施工延長1500m)までのトンネル構築を目指した

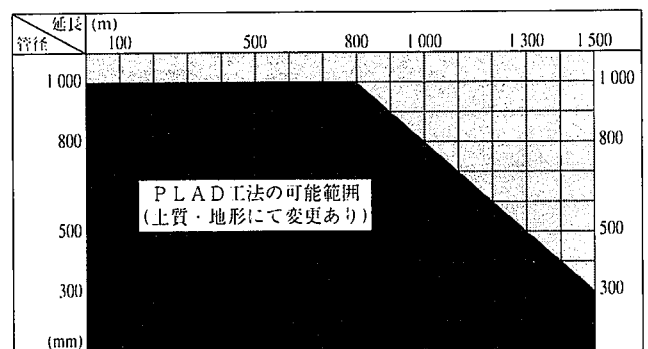


図 1 適用可能工事規模

<sup>(1)</sup> 鉄構海洋事業部 水道・土木エンジニアリング部 掛長  
<sup>(3)</sup> 鉄構海洋事業部 水道・土木エンジニアリング部

<sup>(2)</sup> 鉄構海洋事業部 水道・土木エンジニアリング部 室長  
<sup>(4)</sup> 鉄構海洋事業部 技術開発部 掛長

J-PLAD工法(Jumbo-PLAD工法)の開発に着手した。

本報告では、従来のPLAD工法及びJ-PLAD工法の概要を述べた後、1994年に実施したフィールド実験の概要及び結果について述べる。

## 2. J-PLAD工法の概要

### 2.1 工法のしくみ

#### 2.1.1 従来のPLAD工法技術

従来のPLAD工法の基本的な施工手順は、①パイロット孔掘削工、②掘削・ドリルパイプ入替え工、③本管引込み工の3工程から成る。本管引込み工では、図2に示すように、到達側の地上でドリルパイプ先端に本管引込み用治具(カッター及びリーマー等)を取付け、更にその後方に本管をスイベルを介して接続する。この構成でドリルパイプを回転させながらカッターで掘削し、リーマーで孔壁を整形しながら本管を発進側へ引込む。このとき、接続されたスイベルジョイントにより本管は回転せずに引込まれる。

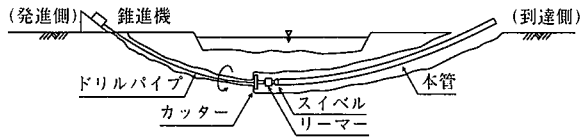


図2 本管引込工

#### 2.1.2 掘削・引込み

従来のPLAD工法の本管引込み工程では、図3に示すようにカッターの回転力( $T$ )、カッター前面の引込み抵抗( $f_1$ )及び本管の周面摩擦抵抗( $f_2$ )が同時にドリルパイプに作用する。従来工法の治具構成で引込み本管を大径化する場合、 $T$ 、 $f_1$ 、 $f_2$ はいずれも増大するため、ドリルパイプに作用する負荷が極めて大きく

なるという問題が生じる。

そこで、J-PLAD工法では、掘削力( $T$ 、 $f_1$ 、 $f_2$ )の分散を図るため、引込み管先端の専用掘削ヘッド内部にカッター回転駆動装置(内部モーター)とスライドジャッキを設置した(図3参照)。

掘削・引込みの手順は、まず、内部モーターでカッターを回転しながら発進側へ掘削ヘッドをジャッキストローク分だけ引込む(掘削時)。続いて、カッターの回転を停止した後、ジャッキを用いて後続の管をストローク分引込む(管引込み時)。この一連の動作を繰り返して掘削・引込みを行うことによりドリルパイプにかかる負荷は、掘削ヘッドを引き込む際に $f_1$ のみ、管を引込む際に $f_2$ のみに分散することができ、大径管の引込み敷設が可能となる。

#### 2.1.3 排土

従来のPLAD工法の排土方法については、図3に示すように発進側から圧送した泥水は、カッター前面から噴射され、掘削されたズリと混合し、本管と地盤の間隙を通して到達側へ排出される。この方法を大径掘削に適用すると、掘削土量の増加で確実な排土が期待できず、管引込み時の大きな抵抗となりうる。

そこで、J-PLAD工法では、泥水式シールド工法で用いられる流体輸送式を採用した。具体的には、到達側から送った泥水は、カッター前面で掘削したズリと混合し、排泥ポンプにより強制的に孔外の到達側へ排出される。これにより、掘削土量が増加しても、確実な排上が可能となる。

### 2.2 施工手順

J-PLAD工法の基本施工工程は、従来のPLAD工法と同じ以下の3工程である。本工法の施工手順を図4に示す。

#### 2.2.1 Step-1. パイロット孔掘削工

発進側に斜めに設置した推進機により、小径(2-7/8又は5インチ)のパイロットパイプを計画された軌道に沿ってパイロット孔を掘削する。曲線掘削は、パイロットパイプの先端に装着した軌道制御機

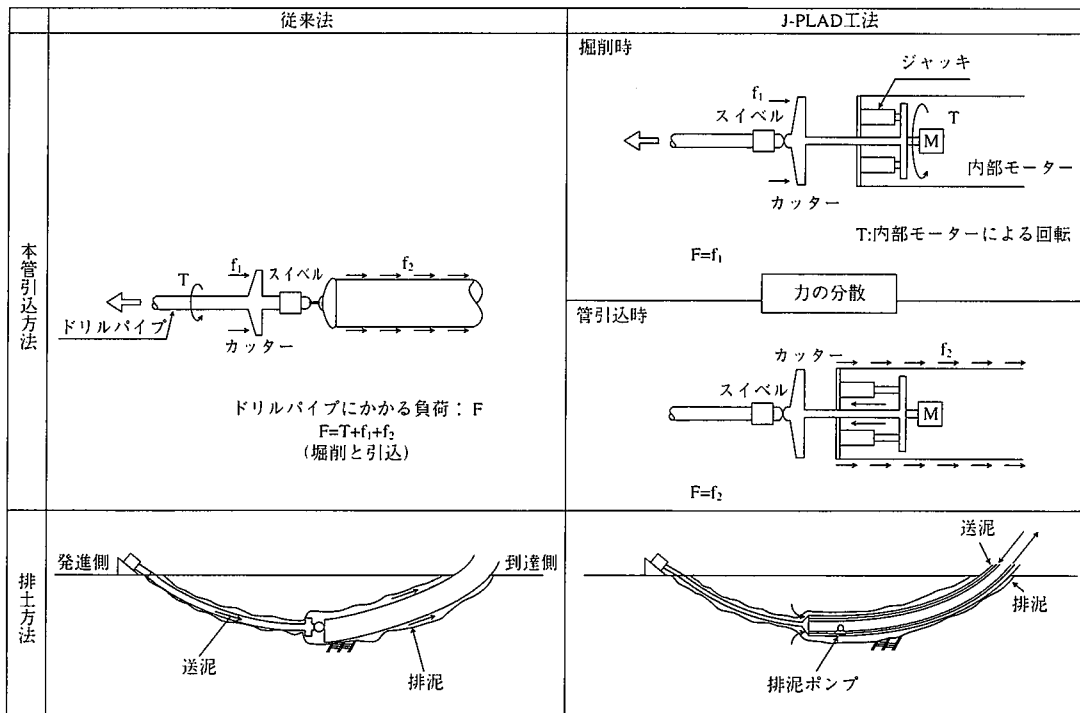


図3 本管引込方法及び排土方法の比較

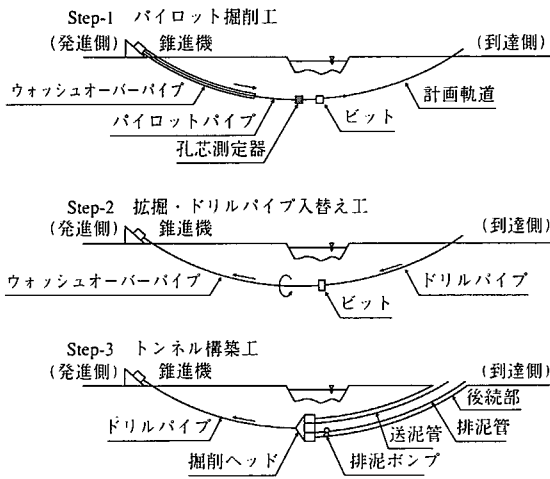


図4 J-PLAD工法の施工手順

能を持つ泥水圧駆動型掘削装置又は泥水JET型掘削装置により、泥水量、掘進速度を制御して行う。掘削軌道は、先端掘削装置の直後に位置する孔芯測定器により地上でモニターされる。掘削距離が長くなるとパイプの周面摩擦抵抗が増大するため、パイロットパイプに2-7/8インチを使用した場合は、パイロットパイプの外側に径の大きなウォッシュオーバーパイプ(5インチ)をかぶせて回転させながら掘進し、パイロットパイプの抵抗を低減させると共に軌道を確保する。

2.2.2 Step-2. 拡張・ドリルパイプ入替え工

到達したウォッシュオーバーパイプ(又はパイロットパイプ)に拡張・入替用ビットと本管を引込むために十分な強度を持つドリルパイプ(5インチ)を接続し、発進側へ回転させながら引込み、拡張しながらウォッシュオーバーパイプ(又はパイロットパイプ)と入替える。このステップは延長、管径、土質により省略することもある。

2.2.3 Step-3. トンネル構築工

到達側のドリルパイプの先端に、スィベルジョイント、ユニバーサルジョイントを介して専用掘削ヘッドを取付け、専用掘削ヘッド内の回転駆動装置でカッターを回転させ、カッター前面から泥水を噴射させながら専用掘削ヘッドのみを発進側へ引込む。その後、スライドジャッキにより接続された管(後続部)を引込む(図5参照)。専用掘削ヘッド及び後続部を引込む際の反力は、ドリルパイプを介して発進側の錐進機にとる。また、掘削に使用する泥水は、掘削土砂と共に排泥ポンプにより管内を通して輸送され、泥水プラントにて処理された後、再度利用される。

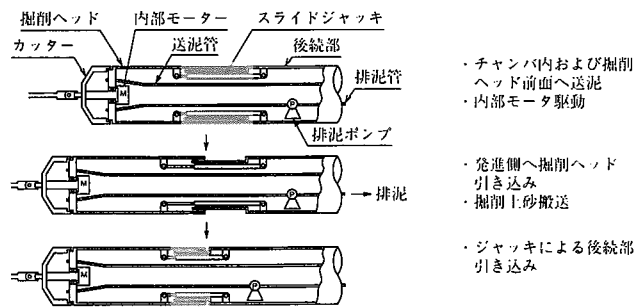


図5 後続部引込み手順

2.3 主要機器設備

2.3.1 錐進機

錐進機は、斜めの反力架台と推進・回転及び牽引装置からなり、H型鋼によるアンカーで固定される。

この錐進機により、パイロットパイプ掘削時には推進力のみを、ウォッシュオーバー掘進時には回転力と推進力、そして拡張・ドリルパイプ入替え時には回転力と牽引力、トンネル構築時には牽引力のみを供給する。微速、小推力での微妙なパイロットパイプ掘削から、高速、大牽引力でのトンネル構築までを1台の機械で制御可能とした点に技術的特色がある。錐進機を写真1に示す。

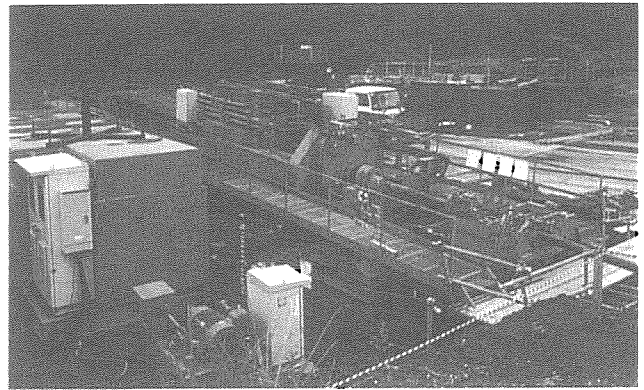


写真1 錐進機

2.3.2 泥水環流設備

パイロット孔掘削工から拡張・ドリルパイプ入替え工までの工程においては、泥水設備は、ホッパー、ミキサーなどの作泥設備、タンク、送泥用ポンプ及び戻り泥水の再調泥設備で構成される。泥水は、発進側に設置された泥水設備により供給される。

トンネル構築工では、泥水設備は、到達側地上に設置される前記設備に加えて、管内に設置される送泥のための送泥管とジェット管及び排泥のための排泥ポンプと排泥管で構成される。この時の泥水は、図6に示すように、ホッパータンクで作られ、一時サクシオンタンクに貯留された後、送泥ポンプにより送泥管及びジェット管にて専用掘削ヘッド先端へ送り込まれる。その後、掘削に使用された泥水は、掘削スリと共に排泥ポンプにより排泥管を通して輸送され、再調泥設備にて処理された後、再度利用される。

2.3.3 コントロールボックス

コントロールボックスは発進側、到達側の2か所に設置され、発

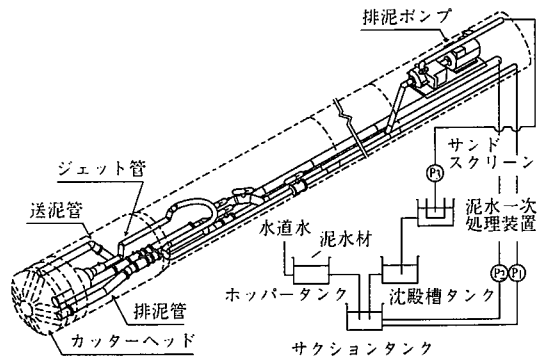


図6 還流設備の概要

進側のコントロールボックスには、推進機及び泥水ポンプの操作盤、速度、推力、トルク、泥水圧力、送泥量等の計器盤及び軌道管理用コンピュータなどが設置され、パイロット掘削工から掘削・ドリルパイプ入替え工までの操作を行う。また、写真2に示す到達側のコントロールボックスには専用掘削ヘッド、スライドジャッキ及び泥水ポンプ等の操作盤が設置されており、発進側と到達側の両コントロールボックスからの連携操作でトンネル構築工を行う。

2.3.4 専用掘削ヘッド

図7に示すように、専用掘削ヘッドには、前方にカッター、内部にカッターを駆動させるためのモーター及び後続部を引込むためのスライドジャッキが設置されており、2000mmまでのトンネル構築を施工可能とする構成となっている。カッター前面には、泥水を噴射させるためのジェットノズルと地盤を掘削するためのビットが設置されている。

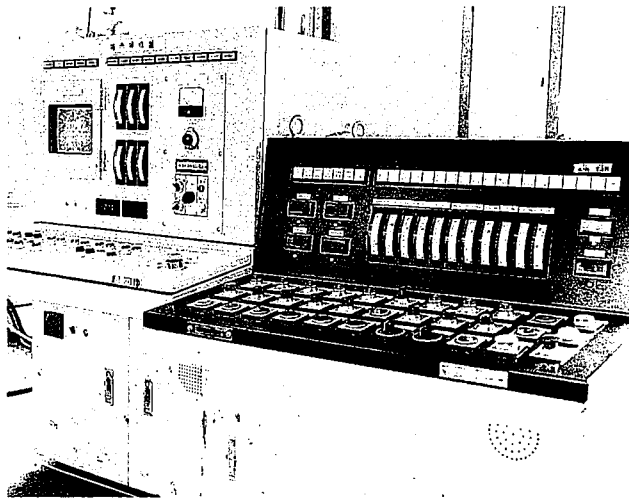


写真2 到達側のコントロールボックス

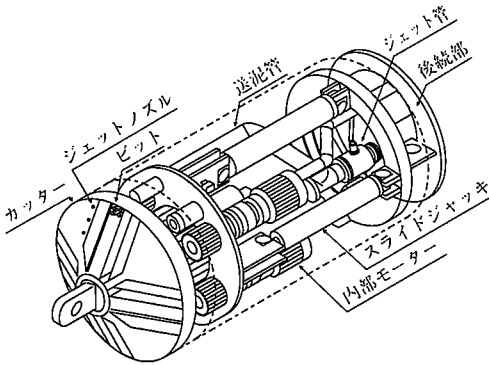


図7 専用掘削ヘッド

3. フィールド実験

J-PLAD工法の開発では、立坑を用いずに2000mmまでの弧状トンネルを構築することが目標であるが、更にシールド工法の2~3倍の高速施工を目指している。これに対し、1994年の6月~10月にかけて、千葉県木更津市において、実規模の掘削設備を用いたフィールド実験を行い、専用掘削ヘッドの掘削性能や泥水還流システムの設備能力及び掘削・引込み操作方法などの検証を行った。

3.1 実験概要

実験規模は、使用用地面積が限られていたことから図8に示すように推進延長170m、管径1500A、軌道の曲率半径を1500mに設定した。

実験方法としては、泥水JET型掘削装置を設置した5インチのパイロットパイプでパイロット孔を掘削した後、掘削・ドリルパイプ入替えを行った。次に、到達側のドリルパイプの先端にスイベルジョイントとユニバーサルジョイント及び1750mmの専用掘削ヘッドを連結し、更にその後部に170mの1500Aの鋼管を接続して、大径管引込みを行った。

土質は、洪積層で、N値5~30のれきを含む砂質土(発進側)とN値2~8のローム(到達側)からなる互層地盤であった。

図9に実験工程を示す。

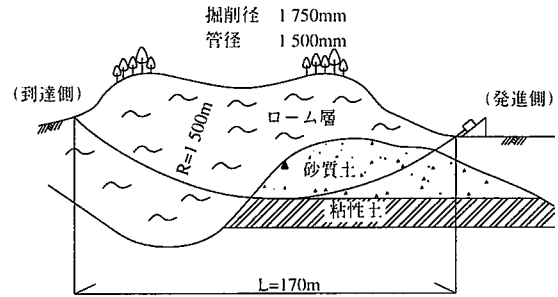


図8 軌道断面図

月	6	7	8	9	10
○不陸整正・仮設・機械掘削	○	○			
①パイロット孔掘削工		○	○		
②掘削・ドリルパイプ入替え			○	○	
③トンネル構築工		○準備	○	○	
○解体・撤去・原形復旧				○	○

図9 実験工程

3.2 実験結果

以下に、最終工程であるトンネル構築(1500A管引込み)の実験結果について述べる。

3.2.1 効率的な操作方法の構築

従来のPLAD工法の本管引込み工程では、機器設備の操作としては、基本的に発進側推進機による管引込みのみで、全体の進捗への影響は少なかったが、J-PLAD工法では、図10に示すように、発進側での専用掘削ヘッドの引込み操作に到達側でのカッター、スライドジャッキ及び泥水還流の操作が加わるため、より効率的な操作方法を構築する必要がある。

そこで、計画段階で検討した手順に従って、一つ一つの作業内容を確認しながら手動で操作を行った結果、図10に示すような手順を明確にすることができた。更に、次の操作ステップに移行する際の基準値、例えばプレテンション(カッターを回転させる前に行う発進側推進機からのドリルパイプの引張)の力、泥水流量、切羽及び送泥圧力等を把握、設定できたことにより、安定した掘削、管引込みを行いながら効率的に操作することが可能となった。

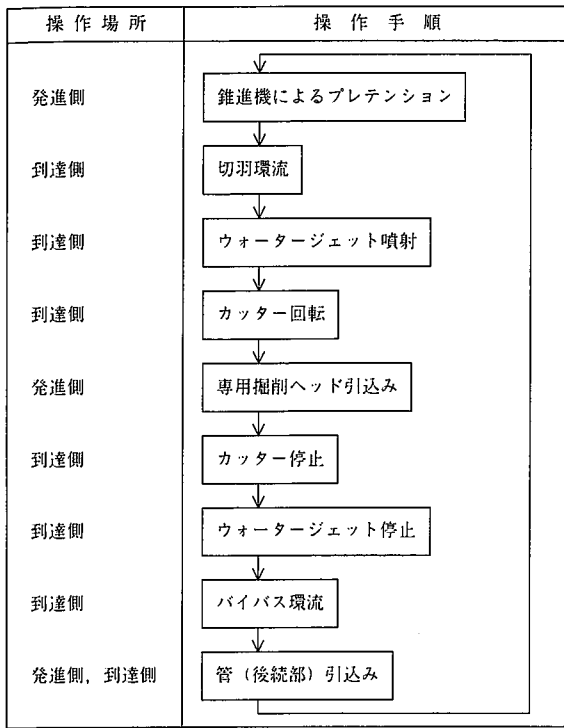


図10 J-PLAD工法の操作手順

3.2.2 弧状のトンネル構築の実証

実験用に製作した専用掘削ヘッドは、軌道曲率の曲げ、掘削前面抵抗等に対して十分に機能し、掘削ヘッドが上り軌道を掘り進む際も、先行したドリルパイプに沿ってスムーズに弧状に掘削可能なことを確認した。発進側に到達した状況を写真3に示す。

3.2.3 掘削土の確実な排土と安定した泥水還流

泥水による掘削土の搬出については、粘土、砂、50mm程度のレキに対して確実な排土が可能であることを確認できた。また、本工法では、送泥水としてチャンパー内へ送る泥水とウォータージェット噴射のためにカッター前面へ送る泥水とがあり、通常の泥水シールド工法の流体輸送方式と比較するとカッター付近での泥水の流れが異なる。しかしながら、チャンパー内送泥水とウォータージェット送泥水の割合が2:1であっても送排泥流量の変動がほとんどなく、安定した泥水還流が可能であることが検証できた。



写真3 到達状況

3.2.4 ウォータージェットによる掘削力の低減

専用掘削ヘッドの特徴の一つに、泥水噴射ノズルをカッター前面に取り付けた点がある。この泥水噴射ノズルは、掘削時にウォータージェットを噴射させることで掘削力の低減を図ることを目的としたが、今回の中程度に締まった砂地盤において、掘削速度25cm/min、ジェット流量1.0m<sup>3</sup>/min(ジェット圧約20kgf/cm<sup>2</sup>)の条件下での掘削は、ウォータージェットを噴射させないときの掘削と比べ、掘削トルクを約30%減少させることが可能という結果を得た。この結果は、カッタービットの磨耗の軽減に役立つと共に、更に高速度掘削の可能性があることを示唆している。

ウォータージェット噴射状況を写真4に示す。

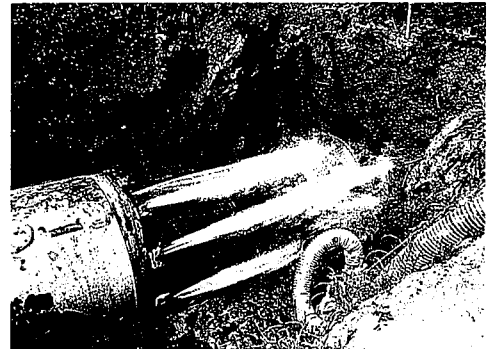


写真4 ウォータージェット噴射状況

3.3 今後の課題

今回のフィールド実験で、用地の都合により錐進延長170mと短距離でのトンネル構築実験ではあったが、大径化、長距離化への応用のための掘削データ及び泥水環流データ等を得ると共に大径弧状トンネルの構築を実証した。今後は、以下の項目について検討を進め、より一層工法の充実を図っていきたい。

- (1)トンネル構築の長距離化
- (2)岩盤やレキとの互層等難しい土質条件への対応力の強化
- (3)掘削設備、環流設備のコンパクト化

4. 結 言

千葉県木更津市のフィールド実験で掘削・引込みシステム全体の性能を検証したことにより、大径の弧状トンネルを構築するJ-PLAD工法の実用化のめどを付けることができた。

21世紀のインフラ整備が進められる中で、大径の非開削工法のニーズは更に増大するものと予想され、今後、

- (1)2000mm程度までのトンネル構築が可能である。
- (2)掘削スピードがシールド工法の数倍で、かつ立坑を構築する必要がないため施工速度が速い。
- (3)地上での作業が基本で安全に優れている。

等の本工法の特長を活かし、ガス、電力、石油を初めとした上下水道、農・工業用水等、幅広い分野に適用されることを期待したい。

参考文献

- 1) 長谷川, 野崎, 作田: 建設機械と施工法シンポジウム, 東京, 1995-10, 建設機械化協会
- 2) 白川, 長谷川: 石油技術協会誌, 49(5), 38-45(1984)