

非開削による配管埋設技術の高度化 —インテリジェント誘導式水平ドリル工法—

和田 洋

誘導式水平ドリル工法（HDD 工法）は世界で最も多く採用されている非開削工法である。北米を中心にここ 20 年ほどの間に飛躍的に実績を伸ばしており、ヨーロッパやアジアでも着実に増加している。我が国では早くからガス業界などがこの工法に着目し導入しており、我が国の土質条件や工事条件に適合するよう施工技術開発に努めてきた結果、施工実績は既に 500 km を超えている。また最近では、経済産業省（委託先：日本ガス協会）が中心となって本工法のインテリジェント化のための研究開発プロジェクトが行われるなど、施工技術のみならず施工機械の高度化に向けた技術開発も実施され成果を上げつつある。

キーワード：トンネル，小口径推進，地下パイプライン，HDD（誘導式水平ドリル）工法

1. 誘導式水平ドリル工法の概要

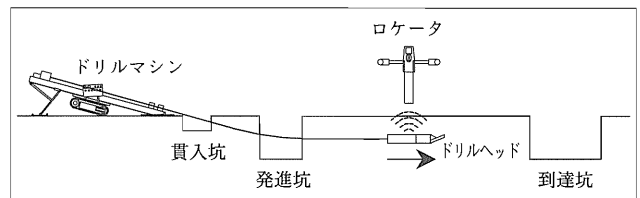
誘導式水平ドリル工法（HDD 工法；Horizontal Directional Drilling）は、2 工程方式の管理設工法である。

第 1 工程では、地上に設置したドリルマシンから、先端にドリルヘッドを装着した直径数 cm のロッドを、回転しながら押し込み削孔する。ドリルヘッドに内蔵した発信器から発生する交流の磁界の方向や強度を、ロケータとよばれる受信器を用いて検出することにより、ドリルヘッドの位置、深度や方向を知ることができる。

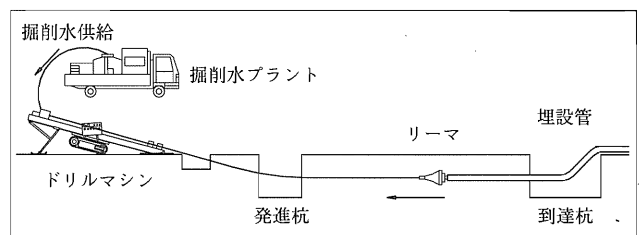
ドリルヘッドの先端にはスラント（傾斜）型ビットが取付けられており、計画線からずれが生じた場合には、ビットの向きを、修正したい方向に合わせて、回転せずに押し込むことで方向修正を行う。あらかじめ掘削しておいた到達坑にドリルヘッドが届けば、第 1 工程は終了である。

第 2 工程は、掘削方向が逆になり、到達坑側から埋設する管を引込む工程である。ロッド先端には、ドリルヘッドの代わりにリーマと呼ばれる孔径を拡大する工具を装着、このリーマの後方に埋設管を取付け、リーマを回転しながら埋設管を引込んでいき、発進坑まで埋設管が届けば第 2 工程が終了する。

埋設管は主として可とう性のあるポリエチレン管（PE 管）が使われるが、鋼管や特殊な鋳鉄管が採用されることもある。図—1 に第 1 工程の、図—2 に第 2 工程の概要をそれぞれ示す。



図—1 HDD 工法第 1 工程



図—2 HDD 工法第 2 工程

本工法は、従来の小口径推進工法のような極端に高精度な施工は困難であるが、ガスや上水道などの圧送に用いられる管路や、電力ケーブル、光ファイバーケーブルなどの埋設管路形成には最適な工法であるといえる。以下に本工法の特長を述べる。

（1）地上発進型の非開削工法

従来の小口径推進機とは異なり、機械本体は地上に設置する。したがって立坑に基礎コンクリートの打設は不要で、立坑築造費用は少ない。また機械の設置、位置修正も容易である。

（2）最小限の開削

開削が必要なのは、発進坑、到達坑およびドリルロッ

ドを最初に地面に貫入させるための貫入坑のみである。機械本体が地上設置なので発進坑、到達坑の大きさは最小限で済み、舗装の復旧費用も少なく経済的な工法といえる。

(3) 環境負荷が極小

排出する掘削土砂量も小さく、環境への負荷が非常に少ない工法である。また、交通渋滞を招く可能性も低く、周辺住民へ迷惑をかけることの少ない工法でもある。

(4) 迅速・確実な施工

条件にもよるが、ごく一般的な開削工法に比べて少ない作業時間で施工を完了することができ、地表への影響がほとんど無い工法である。

2. わが国における稼働状況

上述のように誘導式水平ドリル工法は数多くの優れた特徴を有している。おそらく世界中でもっとも多く採用されている非開削の管埋設技術であるといえることができるであろう。

特に広く用いられているのは北米で、使用されるマシンの配車台数は、おそらく1万台を超えているものと考えられる。さらにここ数年のあいだに、ヨーロッパやアジア諸国でも着実に増加しつつある。例えば経済発展の著しい中国ではすでに800台以上が稼働していると言われている。

翻って我が国を見ると、最初の導入以来十数年が経

過しているにもかかわらず、配車台数は数十台にすぎず、なおかつその中で頻繁に使用されているのは2~30台であろうと推測されている。

現在国内には、数種の外国製機械と1種類の国産機が稼働している。この他にも超大型の機械が2, 3輸入されている。多くは輸入代理店と施工業者が協力して工法協会を設立し工法のPR、普及に努めてきた。

機械の仕様はメーカーによってもまた、同じメーカーの中でも機種によっても異なっているが、各メーカーはそれぞれ他社にない特徴を持っている。表—1に現在国内で稼働している主な機械の特徴をまとめて示す。

3. 施工実績

我が国における本工法による施工実績は、日本非開削技術協会での調査によれば全体で約540kmを超えている。このうち概ね70%がガス管である。

その他は下水（農業集落排水などの真空式または圧送式）が約20%、上水が約6%、情報ボックスなどの通信ケーブル用管路が4%となっている。

表—2に過去10年間の用途別施工実績の合計を、

表—2 用途別施工実績
(平成6~15年度合計)

用途	施工距離 (km)	割合 (%)
ガス	383.5	71
下水	103.3	19
上水	31.0	6
通信	21.5	4
電力	2.9	1
計	542.2	100

表—1 国内で稼働中の主なHDD機械とその特徴

機械名称	メーカー/代理店	協会・主な施工者	主な特徴
フローモール	Utilix (米)	(株)関配	都市ガス管路敷設で最も実績のあるHDD工法。汎用型(推力1t, 引力8t)とパワー型(推力15t, 引力20t)の2種類がある。先端ノズルから噴射するジェット水による削孔がベースとなっており方向修正が容易。さらに可とう性の高いロッド(φ32mm, 許容曲率R=14m)の組合せにより曲線施工や埋設物の比較的多い現場施工に向いている。
ディッチウィッチ	CMW (米) /日本ノーディグ	アーバンノーディグ工法協会	管種、口径、土質に応じた機種が4種類あり、各種形状のドリルヘッド、リーマの他ピバテールリーマ等豊富な拡張工具が揃っている。またボアジェルという滑性能力が高く内径保持能力の高い泥水材も有している。
グルンドドリル	TRACT (独) /伊藤忠建機	グルンドドリル工法協会	引力6.5tと9.5tの2機種が主に使用されている。他社機にない機能として最高毎分1,000回の打撃機能があり、ベントナイト泥水とこの打撃機能により極めて軟質な土から硬質土、玉石混じり土まで広範囲の土質に対応できる。
テラジェット	テラ社 (スイス) /トーマック	テラジェット協会	テラジェットシリーズは、現在日本国内に25台あり、スタンダード仕様として駆動源とドリル本体が分離し、押力7.5t/引力15t/回転トルク最大550kgの5515A型を標準としている。
バーミア	Vermeer (米) /三桜工機	三桜工機	国内にはビット発進型(引力4t)と地上発進型(引力10.8t)の2機種を導入。地上発進型の機種は世界的に最もポピュラーなものの一つで機械の信頼性も高い。バーミア・エクリプスの使用によって先端位置検知が容易で、遠隔誘導も可能である。
BC 70	コマツ	—	初の国産機。小型ながら10tの引き力を有しかつ、70dBを下回る静粛性など都市部での使用も想定した設計。ガイダンス付きのタッチパネル式操作盤や半自動ロッドチェンジャ等、初心者にも扱いやすいうえに建機部品採用により信頼性も高い。

表-3 口径・管種別施工延長

(単位：km, 平成6年度～15年度合計)

口径	管種						計
	PE管	塩ビ管	ダクタイル管	鋼管	ステンレス管	その他	
50未満	41.35	0.25	0	0	0	0.10	41.70
50以上100未満	134.93	0.01	0.08	0.71	0	0.96	136.69
100以上150未満	130.26	0.06	0.20	5.74	0.20	0.32	136.78
150以上200未満	115.96	0	0.29	16.27	0.03	0.49	133.04
200以上300未満	69.85	0.04	0.73	12.80	0	0.22	83.64
300以上	6.19	0	0.08	4.06	0.02	0	10.35
合計	498.54	0.36	1.38	39.58	0.25	2.09	542.20

表-3には同じく過去10年間の管種・口径別の施工実績を示す。

表-3からも容易にわかるとおり、HDD工法に最も適した埋設管はポリエチレン（PE）管である。PE管の採用に最も前向きであったガス工事向けの施工実績が約7割を占めているのは、ガス事業者の努力によるところが大きい。

4. 特殊な工事事例

HDD工法は、応用範囲の広い工法である。表-4に示すのは河川を横断して光ファイバーケーブルを敷設するための管を埋設する工事である。

表-4 工事概要

工事名	平成13年度中間大橋ほか、光ケーブル敷設設置工事
発注者	国土交通省遠賀川工事事務所
仕様	φ300mm高密度PE管、埋設距離=148.5m
施工機械	テラジェット

写真-1には計画線上の水面に小船を浮かべてその上からドリルヘッドの位置を計測している状況を示す。また写真-2にはPE管引込みが完了した直後の発進坑の状況を示す。



写真-1 水面上からの位置計測作業

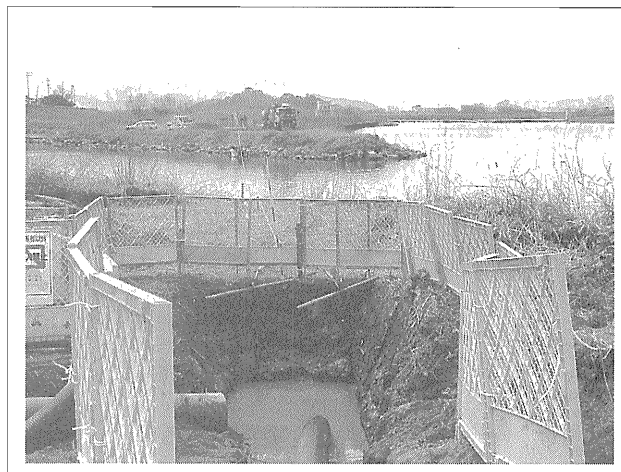


写真-2 発進坑の状況

概ね150mに及ぶ河川下横断工事が、このような簡単な発進坑で十分施工できるHDD工法は、従来の推進工法を見慣れた目には、目から鱗が落ちるといった印象を与えるのではないだろうか。

5. HDD工法の高度化—インテリジェントHDD工法—

社団法人日本ガス協会は、経済産業省より委託を受け、平成10年度から6年計画でガス導管漏えい対策技術開発事業の中で「インテリジェント非開削工法の開発」に取り組んだ。この技術は経年埋設管から耐震性、耐食性に優れるPE管への更新を非開削で効率的に実施することを目指すものである。

(1) HDD工法の問題点

すでに述べたように、HDD工法は従来の開削工法に比べ、多くの優れた特徴を有しており、その適用率の向上が強く求められている。しかし、この工法を埋設物の輻輳する市街地に適用する場合、以下のような問題が挙げられる。

- ・推進中前方に存在する未知の既設埋設物を検知で

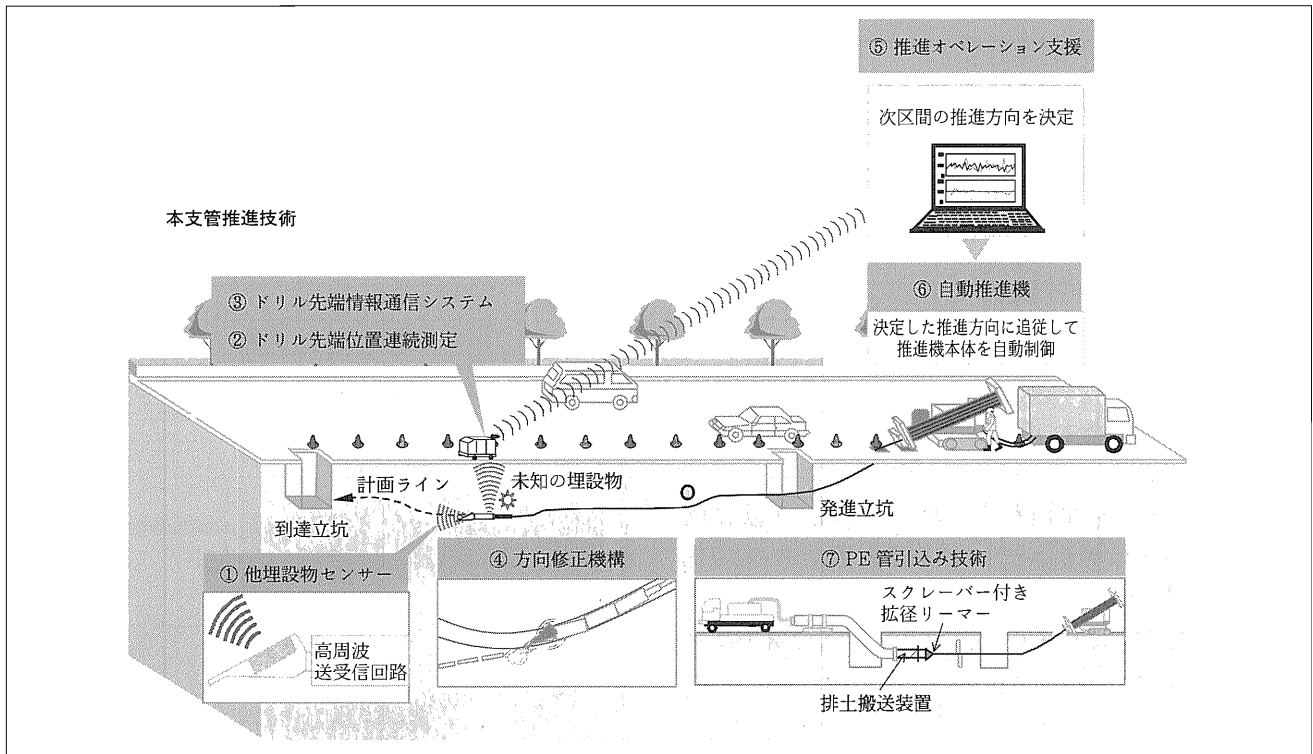


図-3 インテリジェントHDD工法の開発技術

きず、それを破損する危険性がある。

- 輻輳する多種の埋設物の隙間を縫って導管を敷設するため推進作業効率や敷設精度がオペレータの技量に大きく依存する。

これらの問題点の解決のために、本開発では以下に述べる要素技術の研究を行った。その概要を説明する。図-3 にインテリジェント HDD 工法のイメージを示す。

(2) インテリジェントHDD工法の開発目標

インテリジェント非開削工法の施工機械は地中でその推進方向を自動制御できる機能を有している(本支管と呼ばれる口径75~200mmの管を敷設する場合)。

したがってドリルヘッドの先端に前方の埋設物の存在を検知できるセンサやドリルヘッド自身の位置を検知できるセンサを搭載できれば、図-3のように既設

埋設物との衝突を回避しながら安全に地中を推進することができる。

表-5 にインテリジェント非開削工法に要求される開発目標仕様を示す。

(3) インテリジェント非開削工法の要素技術

インテリジェント非開削工法は以下の要素技術項目からなる。

(a) 埋設物検知技術

大型のシールド推進機などには、弾性波を用いた前方探査システムが開発されているが、本開発では、地中レーダを小口径のドリルヘッド先端に搭載できるように小型レーダシステムを開発した。

図-4 に示すように微小アンテナをドリルヘッド先端傾斜部に取付け、推進ドリル先端の胴体部に小型送受信回路を搭載している。

表-5 開発目標

本支管敷設	埋設物検知	<ul style="list-style-type: none"> • 検知対象：地下埋設管 • 最大検知距離：推進ドリル先端部から前方向30cm程度(口径150mmの金属管の場合)
	推進制御	<ul style="list-style-type: none"> • 敷設管種：PE管、口径：75~200mm程度 • 適用土質：岩質を除くあらゆる土質 • 施工能率：最大100m/日程度(口径100mmの場合) • 計画ラインに沿った自動推進 • 埋設物を回避するルートをオペレータに指示
供給管取出し		<ul style="list-style-type: none"> • 敷設管種：PE管、口径：30mm程度 • 最大施工延長：10m程度 • 推進(作業)条件：民有地側から推進、管接合などの作業を実施

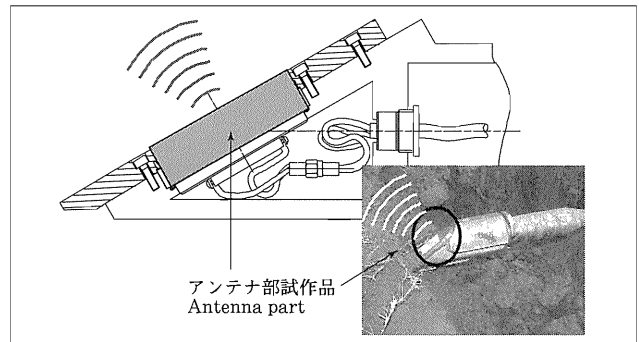


図-4 埋設物検知技術

微小アンテナの指向性が広いため、前方斜め方向から前方方向の埋設物を検知することが可能である。このレーダシステムが送信する電磁波の中心周波数は約1 GHzである。

リアルタイムに探査データを取込み、埋設物検知のためのデータ処理を施す。検出した時点で停止情報を発信し、推進機が自動停止する。埋設物までの距離、方向などの埋設物情報は推進オペレーション支援システムに自動的に伝えられ、推進履歴と埋設物の位置関係が算出される。

(b) 推進ドリル先端位置測定技術

位置計測には、以下の2種類の方式を採用している。

① 積算位置計測

水路の直下や軌道下など位置計測の際に直上で測定操作ができない場合がある。その問題を回避するために本開発では積算位置計測を用いている。積算位置計測のための姿勢計測では、ドリルヘッド先端に搭載する小型地磁気センサと重力場センサの測定により回転方向（ロール）、傾斜角（ピッチ）、方位角を算出する。また、計測された姿勢データを使い推進されたロッド延長を積算することにより、推進ドリル先端の位置を算出する。

試作機のテストでは±10 cm 以内の誤差（推進長 40 m のフィールドの一例）であり、十分実用的であることが分かっている。ただし市街地など、場所によって誤差が多く積算されることがあるため、一定の区間で補正作業が必要な場合がある。

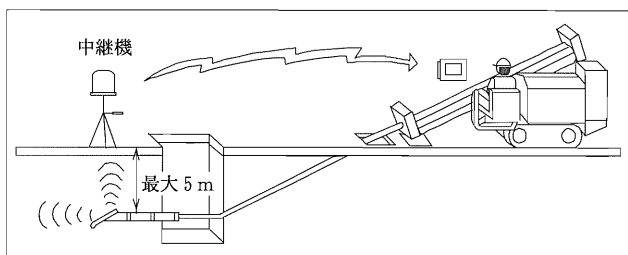
② 絶対位置計測

市街地で推進作業を行う場合、磁気的な外乱で地磁気が乱されることが予測されるため、積算位置計測を所定区間行った後に、人工磁場を用いた絶対位置計測を適宜利用して誤差を補正する。地表面に置いたコイルで人工磁場を形成し、ドリルヘッド先端の胴体部に搭載の磁気センサで位置を測定する。

試作機のテストでは深さ方向が±3 cm 以内の誤差であり、十分実用的であることが分かった。

(c) 推進ドリル先端情報通信技術

推進ドリル先端には、埋設物検知、先端位置測定用



図一五 推進ドリル先端情報通信技術

の計測機器を内蔵するので、それらの計測データを推進機まで通信する必要がある。

本開発においては、土中無線通信システムを構築した。図一五に示すように、ドリルヘッド先端直上の地表面に移動可能な通信中継機を設けている。

試作機の土中からの送信出力は3.2 W、搬送波周波数は125 kHzであり、土中の通信距離5 mを実現した。

(d) その他の開発技術

本開発では、上記のほかに、方向修正能力を大幅に向上させ、前方障害物を避けて別ルートを推進することを容易にできる可動式ドリルヘッドをはじめとして、推進オペレーション支援技術、自動推進技術、さらにはPE管引込み技術として、空気による掘削土搬送技術を開発した。

また、供給管取出し技術として、位置検知装置、回転融着装置など多岐にわたる技術開発を行った。誌面の制約上詳細な紹介は割愛するがこれら周辺技術もまたHDD工法の高度化とそれに伴う普及率向上には不可欠なものであることを申し添えたい。

ちなみにインテリジェントHDD工法の開発は、平成14年度にこれらの本支管推進技術および供給管取出し技術の要素技術開発を終え、平成15年度には実地盤での評価実験を終了している。

6. 終わりに

JSTT・日本非開削技術協会は世界で最も代表的な非開削技術であるHDD工法を国内に普及させることにより、環境にやさしい非開削技術の採用機会を増加させることも協会の大切な事業と位置づける。

前章でも述べたように、何故日本に普及しないのかを考えると、おもな原因は3つあると思われる。

1つ目は新材料、新工法の採用に消極的な企業者に起因する。ポリエチレンに代表される新材料の耐久性などの不信や、工法そのものに関する不安があるものと思われる。

2つ目はHDDの各メーカ、施工者がばらばらで営業活動を行っており、採用するにも統一された技術・積算資料がなく、公共性に欠ける。

3つ目は自然流下の下水道管渠で採用されるほど施工精度が確保できていない現状にある。

これらの要因を解消させることを目的とし、今年度より日本非開削技術協会では、HDD工法の市場促進を目的としたHDD工法普及戦略検討会（メーカ、工法協会、工事会社が参加）を発足させた。これまで

も各メーカー、工法協会などが個別に PR 活動を行ってきたが、これからは、工法、材料一体となった PR 活動を行い各企業での積極的な採用を促進したい。

最後に JSTT・日本非開削技術協会は HDD（誘導式水平ドリル）工法をはじめ、あらゆる非開削技術を、環境にやさしい「道路を掘らない技がここにある」をモットーに、普及支援していく所存である。 **J C M A**



【筆者紹介】

和田 洋（わだ ひろし）
株式会社奥村組
技術本部
JSTT・日本非開削技術協会
事務局長
技術士（建設部門）
<http://www.jstt.jp/>

移動式クレーン Planning 百科

社団法人日本建設機械化協会機械部会建築生産機械技術委員会移動式クレーン分科会（石倉武久分科会長）では、約2年間の編集作業を終え標記の図書を刊行しました。

本書は、

- ・建築工事計画担当者、
- ・工事担当者、
- ・作業実施担当者、

にとって、短期間に移動式クレーン作業の要点を習得するのに最適な書物です。担当する建築工事に適合する移動式クレーンをより迅速に、より効果に選定・運用する際に大いにご活用下さい。

A 4 判 159 頁 定価 2,000 円（消費税別） 送料 400 円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289