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著しく増加している。我が国では早くからガス業界などでも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300kmを超えるものである。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ていることから、施工技術のさらなる施設機械の高度化・新技術による実施技術を上げつつある。
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8mのロッドを回転しながら押込む削孔する。ドリルヘッド内蔵した発信器から発生する交差の磁界の方向や強度を、ロータリーやよばれる受信器を利用して検出し、これを方向を知ることができる。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、計画点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、回転せずに押込むことで方向修正を行う。あらかじめ掘削しておく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り付け、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。

埋設工は主として可とう性のあるポリエチレン管（PE管）が使われが、鋼管や特殊な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、光ファイバーブルなど多く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
従来の小口径推進工法とは異なり、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あり、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
ドを最初に画面に表示させるために画面ののみである。機械本体が地上配置なので前進後、到達する数値は最短で済み、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
排出する揚圧土砂量も小さく、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、周辺住民への迷惑をかけることの少ない工法である。

（4）迅速・確実な施工
条件にかかわらず、ぐるぐる一般的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理施工法であるという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1万台を超えるものと考えられる。さらにここ数年のあいだ、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、最初の導入以来数十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、なかなかその中で頻繁に使用されているのは2〜3台であると推測されている。

現在国内には、数種の外国製機械と1種類の国産機械が稼働している。他のにも超大型の機械が2〜3台入されている。多くは輸入代理店と施工業者が協力して工法を進めを行っている。

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その社針に特徴を持っている。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によっての全体で約540 km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％、情報ポ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 除去10年間の用途別施工実績の合計

<table>
<thead>
<tr>
<th>用途</th>
<th>施工延長（km）</th>
<th>削合（％）</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>ガス</td>
<td>383.3</td>
<td>71</td>
</tr>
<tr>
<td>下水</td>
<td>103.3</td>
<td>19</td>
</tr>
<tr>
<td>上水</td>
<td>31.0</td>
<td>6</td>
</tr>
<tr>
<td>通信</td>
<td>21.5</td>
<td>4</td>
</tr>
<tr>
<td>電力</td>
<td>2.9</td>
<td>1</td>
</tr>
<tr>
<td>石</td>
<td>542.2</td>
<td>100</td>
</tr>
</tbody>
</table>

表-1 国内に使用中の主な HDD 機械とその特徴

<table>
<thead>
<tr>
<th>機械名称</th>
<th>メーカ/代理店</th>
<th>協会/主な施工者</th>
<th>主な特徴</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>フローモール</td>
<td>Utilix（米）</td>
<td>（株）開発</td>
<td>都市ガス管理敷設で最も実績のある HDD 工法。現用型（能力15, 引力5t）とパワー型（能力15 t, 引力20 t）の2種類がある。先端ノズルからの噴射するジェット水による懸垂がベースとなっており方向修正が容易。さらに可変性の高いイット（φ45 mm, 引力曲率半径14 m）の組合せで掘削管材や埋設物の比較的少ない現場施工にも向いている。</td>
</tr>
<tr>
<td>ディッチウィッチ</td>
<td>CMW（米）</td>
<td>日本ディーティッチ</td>
<td>ディーティッチ工法協会</td>
</tr>
<tr>
<td>グルンドドリル</td>
<td>TRACT（独）</td>
<td>グランドドリル工法協会</td>
<td>引力3.5 tと9.5 tの2種類が主に使用される。他社機にない機能としジェット届近1,000回の打撃機能があり、ブレインルーパーとこの打撃機械により極めて軽々とし価格土に抵抗し、玉座掘りも容易で用途の幅を持って対応できる。</td>
</tr>
<tr>
<td>テラジェット</td>
<td>テラ社（スイス）</td>
<td>エーゲ社</td>
<td>テラジェット協会</td>
</tr>
<tr>
<td>バーミア</td>
<td>Vermeer（米）</td>
<td>三栄機器</td>
<td>バーミア機</td>
</tr>
<tr>
<td>BC70</td>
<td>コワマ</td>
<td>—</td>
<td>初めての製品。小口ながら10 tの引き力を有しつつ、70 dBを下回る静音性など都市部での使用を想定した設計。ガイダンス付きのリアルタイム操作盤やロリタロットチェッカ等、初心者にも扱いやすいという製品名の意図に適合。</td>
</tr>
</tbody>
</table>
表3-3 口径・管種別の施工延長

<table>
<thead>
<tr>
<th>口 径</th>
<th>PE管</th>
<th>竹管</th>
<th>ダクタイル管</th>
<th>鋼管</th>
<th>ステンレス管</th>
<th>そ れ 他</th>
<th>合 計</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>50未満</td>
<td>41.55</td>
<td>0.25</td>
<td>0</td>
<td>0</td>
<td>0.10</td>
<td>41.70</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>50以上100未満</td>
<td>130.93</td>
<td>0.01</td>
<td>0.06</td>
<td>0.71</td>
<td>0.96</td>
<td>136.69</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>100以上150未満</td>
<td>130.25</td>
<td>0.06</td>
<td>0.20</td>
<td>5.74</td>
<td>0.32</td>
<td>136.78</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>150以上200未満</td>
<td>115.96</td>
<td>0</td>
<td>0.29</td>
<td>16.27</td>
<td>0.49</td>
<td>133.04</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>200以上300未満</td>
<td>69.85</td>
<td>0.04</td>
<td>0.73</td>
<td>12.80</td>
<td>0.22</td>
<td>83.64</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>300以上</td>
<td>6.19</td>
<td>0</td>
<td>0.08</td>
<td>4.96</td>
<td>0.02</td>
<td>0.29</td>
<td>10.35</td>
</tr>
<tr>
<td>合計</td>
<td>488.54</td>
<td>0.30</td>
<td>1.38</td>
<td>35.58</td>
<td>0.25</td>
<td>2.09</td>
<td>542.20</td>
</tr>
</tbody>
</table>

表3-3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3-3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割を占めているが、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4-4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。

写真1-1には計画線上の水面に小艇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1-2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2-2 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、従来の推進工法を実現した目には、目から鱗が落ちるといった印象を与えないだろうか。

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年計画でガス導管埋設や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。この技術は年間埋設管から耐震性、耐食性に優れた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転轍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
本支管推進技術

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。
・雨天など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75〜200 mm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
中レーザーを小口径のドリルヘッド先端に搭載できるよ
うに小型レーザ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

<table>
<thead>
<tr>
<th>本支管敷設</th>
<th>推進制御</th>
<th>供給管取出し</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>埋設物検知</td>
<td>探査管材：PE管、口径：75〜200 mm程度</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>通常上空：岩盤を除くあらゆる土質</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>推進速度：最大100 m/日程度（口径100 mmの場合）</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>探査ラインに沿った自動推進</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>埋設物を回避するルートをオペレータに指示</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>探査管材：PE管、口径：30 mm程度</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>最大施工基準：10 m程度</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>推進（作業）条件：民有地側から推進、管接合などの</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>作業を実施</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

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。このレーダー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、ドリルヘッド先端に搭載する小型地磁気センサと重力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もとに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-5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ルートを推進することが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、回転挙動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解説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。

ちなみにインタリジェントHDD工法の開発は、平成14年度にこれら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経て、平成15年度には実地盤での評価実験を終了している。

6． 結果に

JSTT日本非破断技術協会は世界で最も代表的な非破断技術であるHDD工法を国内に普及させることが目的で、環境にやさしい非破断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、おもしろい原因は3つあると思われる。

1つ目は新素材、新工法の採用に消極的な業者に起因する。別レチンに代表される新素材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各メーカー、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は確保できていない現在にある。

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断技術協会では、HDD工法の市場促進を目的としたHDD工法普及戦略検討会（メーカー、工法協会、工事会社が参加）を発足させた。これにより
も各メーカ、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。

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,
によって、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。

A4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