

非開削工法による海底ケーブル陸揚管路敷設

リードドリル工法

渡 邊 康 人・下 田 雅 一

上下水道, ガス, 電力・通信ケーブル用管路などを設置する時, 障害物を回避する必要がある条件下では, 非開削工法による施工が求められる。小口径の推進工法は, 様々な形のものが開発されてきているが, その中で石油掘削の原理・技術を応用した弧状推進工法(リードドリル工法)(以下「本工法」という)を沖縄県糸満市における海底通信ケーブル陸揚管路工事の施工事例と共に紹介する。

キーワード: 非開削, 推進工法, 弧状推進, ケーブル陸揚, 河川横断, 小口径, 管路工事, HDD 工法

1. はじめに

日本国内において非開削工法が必要な場面の多くは, 障害物を回避する制約を受ける都市部にある。このため狭小な敷地で施工が可能な様々な推進工法が発展してきている。一方, 河川, 港湾, 海岸線や丘陵地などの横断で, 1 スパンで長距離の管路設置が求められる時は, 変化する土質, 岩質等, 地盤状況への対応力が求められ, それに合ったコンセプトで開発された工法は少ない。

本工法は, 石油掘削の原理・技術を応用し, 石油などのパイプラインを地中化するために発達した弧状推進工法(海外においては, HDD(Horizontal Directional Drilling))に, 独自の開発技術を加えて進化させた工法で, 1 km 以上の長距離推進が可能な工法である。計画軌跡上を高精度制御テクノロジーにより掘削するため指向性が高く, 高速施工ができる弧状推進工法は欧米で一般的な非開削工法となっている。この従来の弧状推進工事に日本特有の地形・地質に適應するように, 新たな技術開発を加え, 殆ど全ての土質・地質に対応できる管路設置方法として, 日本国内においても小口径長距離推進に特化した工法として確立した。

〈主な特長〉

- ①一般の推進工法のような発進・到達立坑が不要
- ②直線と弧状を組み合わせたコースを描き, 河川や構造物を迂回して到達点まで長距離を推進
- ③管路は直管のたわみを利用して曲線を描く(ただし曲率半径は管径の 1000 倍以上(弾性限界内))
- ④超高压マッドポンプを使用した泥水循環方式

⑤地上に設置した推進機から発進

すべての設備は整備された地上の作業ヤードに配置されるため, 安全に作業することができる。作業ヤードは概ね 800 m² 程度である(写真—1)。



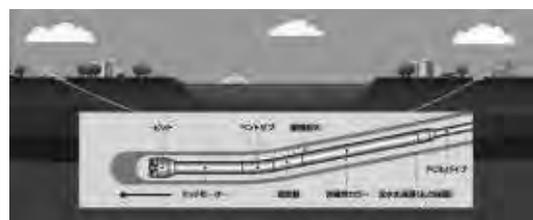
写真—1 作業ヤード全景

2. 本工法の概要

(1) 一般的施工手順

①パイロット孔掘削

まずは, 径 200 mm ~ 300 mm 程度の掘削編成で計画コース通りに掘削する(図—1)。



図—1 パイロット孔掘削

② 拡孔

パイロット孔の掘削終了後、到達側にて拡孔用リーマー又はホールオープナーを取り付けて、到達側から引込みまたは発進側から押し込みながら必要な大きさまで孔径を順次、拡げる作業を行う（図-2）。

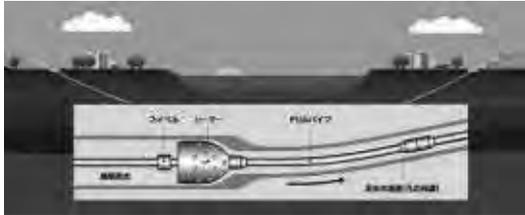


図-2 拡孔

③ 敷設管引込

必要な大きさまで拡孔した後、到達側でドリルパイプに敷設管を接続して、ドリルパイプを発進側で回収しながら敷設管を孔内に引き込む（図-3）。

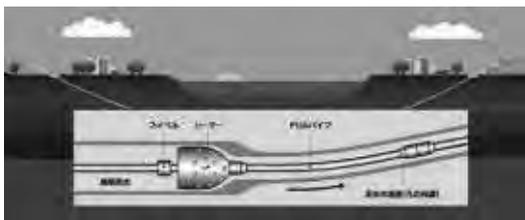


図-3 敷設管引込

(2) 掘削位置計測

先端の掘削位置は、掘削編成に組み込まれた測定器で、地磁気と重力方向を計測することで方位と傾斜を測定して計算で位置を特定する。

地上に人工磁場を発生させる Tru Tracker と呼ばれるケーブルを展張して、その磁場からの方向と距離で位置を確認する方法を使用すれば、その精度を格段に向上させる事が可能である。また、この方法を利用すると周辺に高圧電線など磁気を発するものが付近にある場合でもその影響を排除することができる（図-4）。

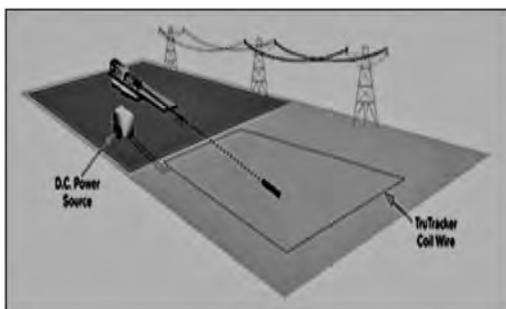


図-4 Tru-Tracker 概要

(3) コースコントロール

パイロット掘削では、直線および曲線の構成で設計された計画線に沿って位置情報を得ながらコントロール掘削を行う。上下左右方向へのコントロールは、推進力に対して掘削編成のベント角から得られる反力を利用して行う。直進時にはその反力を打ち消すために編成全体を回転させて掘進する。この掘削方法をこまめに変えることで計画線に沿って掘削を行う。到達精度は実績ベースで上下左右±2m・延長は±2%である。

3. 施工機材

(1) 水平掘削機

直進、弧状に任意のコースの掘削を行う装置である。先端にビットを取り付けた掘削編成（図-6、写真-6）に順次ドリルパイプをネジ接続し、そのストリングスを通して推力及び回転力を与える。本管挿入の際には推力を利用し、引き込みあるいは押し込みにより孔内へ管を敷設する（図-5、写真-2）。

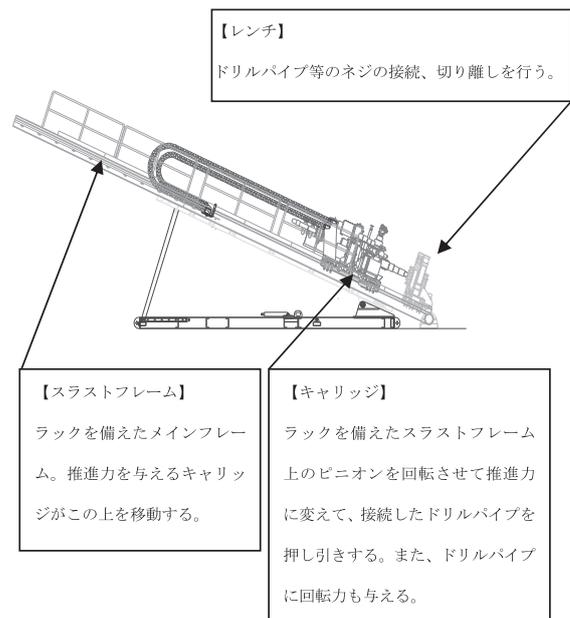


図-5 水平掘削機概要



写真-2 水平掘削機設置状況

(2) その他の主要機材

(a) マッドポンプ

ドリルパイプ内を通して先端編成から孔壁を通して、掘削ズリを地上まで運搬する泥水を循環させるための高圧ピストンポンプ。大型の掘削では、吐出圧10 MPa以上、吐出量1000 L/min以上の能力のものを使用する（写真—3）。



写真—3 マッドポンプ

(b) 調泥プラント

掘削孔を通り地上に上がった泥水から掘削ズリを分離し、泥水性状を調整するプラント。調整された泥水は再びマッドポンプに送られて循環利用される（写真—4）。



写真—4 泥水管理プラント

(3) 掘削ツール

(a) ドリルパイプ

掘削機の推力・トルク・ポンプの高エネルギーを掘削編成の先端に伝える、石油開発の大深度掘削用に作られたパイプ。200 tf～300 tfの引っ張りに耐えうる5”～6-5/8”の管体外径のものを使用する。

(b) ビット

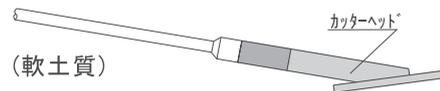
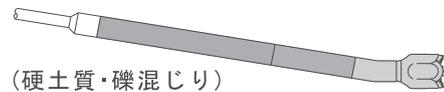
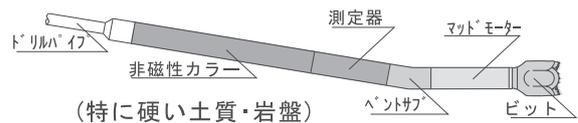
パイロット掘削時、地層を削る最先端ツール。一般的にボーリングで使用されている3つのコーンを組み合わせたトリコーンビットを使用する。土質地盤～軟岩には鉄を削りだしたミルツースビット、硬岩～超硬岩にはタングステンカーバイドチップを埋め込んだTCIビットを使用する（写真—5）。



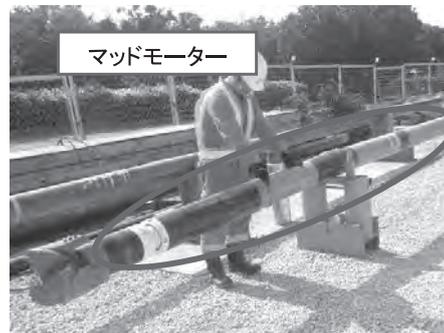
写真—5 掘削用ビット（左：軟岩用ミルツースビット、右：硬岩用TCIビット）

(c) マッドモーター

ビットの直後に装着し、マッドポンプにより高圧で送られる泥水を螺旋状のシャフトに通すことにより先端ビットに回転力を与えるツール。岩盤掘削時に使用する。ベント角がついているため、掘削コースをコントロールできる（図—6、写真—6）。



図—6 パイロット掘削編成



写真—6 パイロット掘削編成

(d) 拡孔ツール

パイロット孔を削り拡げるためのツール。土質地盤ではリーマーと呼ばれるジェット噴射により地層を削るツールを使用し、岩盤ではビットのコーンと同様のカッターを備えたツールを使用する（写真—7）。



写真一七 拡孔ツール

(4) 泥水

泥水は掘削において様々な役割を担う。一般にベントナイトをベースとするものを使用し、掘削地盤に合わせて添加物を調整添加する。泥水はポンプにより圧送し掘削編成の先端から高圧噴射される。ドリルパイプと孔壁の間隙を通して循環させることで掘削ズリを地上に排出する。この時泥壁を形成することで掘削孔を安定的に保つ。また、掘削により熱を帯びる先端ビットの冷却機能も果たす。泥水は地上プラントにより調合、調整し循環利用されるが、この性状を地上に上がった掘削ズリの状態や掘削時の推進機にかかる力のパラメーターをみながらコントロールする（写真一八）。



写真一八 泥水循環状況

(5) 本管使用管種

掘削孔に管を引込設置する際には引っ張りに耐える接続強度が必要となり、一般的に鋼管または高密度ポリエチレン管を用途に合わせて使用する。ケーブル陸揚管路のように海底に到達するような海上作業が必要となる工事では、海上での作業をミニマムにするために本管を発進側から挿入設置する。この時にはケーシングパイプと呼ばれる油井用のネジ接続鋼管を使用する（写真一九）。



写真一九 油井用ネジ鋼管

4. 実績

本工法は、これまで16 kmの施工延長実績がある。用途としては通信・電力・送水管・導水管・地震津波計測ケーブル・排水・ガスパイプライン・深層水取水等、多岐に亘る。国内での最長は徳島県で施工した地震津波計測ケーブルの陸揚げ管路で1,350 mである。また、四国では760 m離れた島と島を貫通し送水管を敷設した実績もある。

5. 施工実績紹介

今回紹介する海底通信ケーブル陸揚管路工事は、沖縄県の実施する離島連携のための海底通信ケーブルの沖縄本島陸揚のための管路工事である。現場となる沖縄県糸満市米須は沖縄戦跡国定公園に含まれ、自然環境保護の観点から開削による管路敷設が禁止されている。このため、サンゴ礁を回避し海底に直接到達する必要があることから、本工法が採用された。

(1) 施工条件

平面距離	603.14 m
掘削距離	606.50 m
掘削径	311.2 mm (12-1/4")
配管長	606.50 m
本管仕様	4 チュービング VAMFJL P110
	外径：101.6 mm 内径：90.12 mm
主要機械	水平掘削機 DD-300 150 t 1台
	マッドポンプ HHF-500 1台
	調泥ユニット 1式
	MCC 1台
	振動フルイ機 2台
	発電機 400 kVA 1台
	125 kVA 2台
	60 kVA 1台

サンドポンプ 4"~2" 9台

泥水材：MAXGEL 増粘剤
ソーダ灰 pH調整剤
テフロー 分散剤
消泡剤 No.15

セメント：①比重 1.55 逸泥防止剤
②比重 1.80 崩壊防止剤

計画縦断線形は、発進点から下り 12° の急勾配で 71.2 m 掘進し、R=1000 m で水平まで戻す。このときの深度は WL-26.46 m である。到達点の海底調査からパンチアウト位置を決定し、R=700 m で上り勾配 4° に修正する計画とした（図-7、写真-10）。

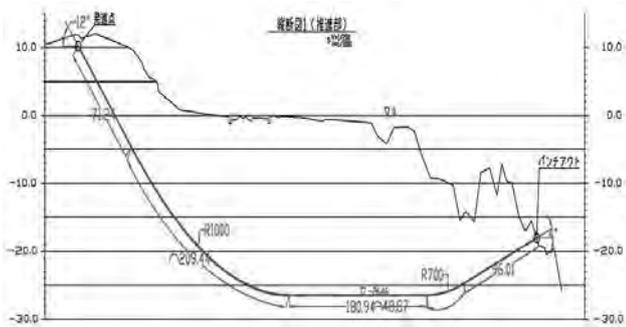


図-7 縦断線形図



写真-10 施工位置付近海岸

地質：琉球石灰岩 岩盤強度 80 MPa 程度

〈琉球石灰岩の特徴〉

- ①サンゴ礁とその碎屑堆積物が、地殻変動により押し上げられて台地面を形成した層である。
- ②層の構成物質はサンゴ、ウニ、貝類、コケムシ、有効虫といった石灰殻をもつ生物遺骸及びその細片が大部分である。
- ③層厚は一般に 40 ~ 50 m あり、基盤の凹面を埋めるように分布している。
- ④未固結の砂礫状部から再結晶作用によって強く固結した塊状部（ケースハーディング）まで、強度

のばらつきが非常に大きい。

- ⑤地下水の影響で処々に空洞部が存在する。
琉球石灰岩は世界でもあまり例のない新規の石灰岩で、現在も岩石化が進行している。

(2) 本工法の採用理由

以下の理由で本工法が採用された。

〈採用理由〉

- ① 600 m の長距離を容易に掘削できる。
- ② 水深 20 m の海底面のターゲットに向けてコントロール掘削ができる。
- ③ 琉球石灰岩の下部を通るため、環境に影響しない。

(3) 不発弾探査

本地域では、戦後 60 年が経過してもなお、毎年 700 ~ 800 件の不発弾が発見されている。本工事においても、作業開始前のコンダクターパイプ設置時に深さ 50 cm ごとに不発弾探査を実施した。

(4) 計測用ケーブル設置

前述の通り、掘進において正確なコースコントロールを行うために、地上に掘削位置計測用のケーブルを設置した。ケーブルは干潮時に海岸から沖に向かって約 100 m 延長して設置し、直流電流 (20 V) をケーブルに流して人工磁場を形成し、掘削編成の中にある測定器で位置計測を行った（写真-11）。



写真-11 計測ケーブル設置状況

(5) パイロット孔掘削

水平掘削機 DD-300 を計画角度と水平方向を調整しながら据付け、パイロット孔掘削を行う時の管理値として、回転スピードは 80 ~ 100 rpm、トルクは 15000 ~ 25000 Nm ± 10000 とした。

(6) セメンチング（石油掘削・ボーリング用語）

本工事を掘進するにあたり、最も注意を要したのは

琉球石灰岩層に点在する空洞である。過去に近隣ではほぼ同条件の施工実績では、3回程度の空洞対策としてセメンチングを計画していたが、予測を越える空洞が10箇所以上有り、その対応に工期延期を余儀なくされた。セメンチングのサイクルを以下に示す。

①逸泥

掘削中に泥水の戻りがなくなった時点で逸泥と判断する。

②掘削編成の揚管

掘削編成を地上に引抜き、セメンチング編成に交換する。

③セメンチング編成の降管

セメンチング編成を逸泥ポイントまで孔内に挿入設置する。

④セメンチング

セメントミルクにベントナイトを添加し、コンクリートポンプ車でドリルパイプを介して掘削孔内の逸泥箇所に充填する（写真—12、表—1）。



写真—12 セメンチング状況

表—1 配合表 (1m³当り)

	逸泥時	崩壊時
セメント (kg)	340.5	627.9
8%ベントナイト (L)	576	1172.1
清水 (L)	314.7	—
比重	1.25	1.80
W/C (%)	255	53
材令7日 (kg/cm²)	5.0	108

⑤硬化

セメントベントナイトが孔内に残留する泥水と比重差により置換され硬化する。空洞の閉塞目的なため硬化養生は1日とする。

⑥セメンチング編成の揚管

⑦掘削編成の降管

⑧セメントベントナイト浚い掘削

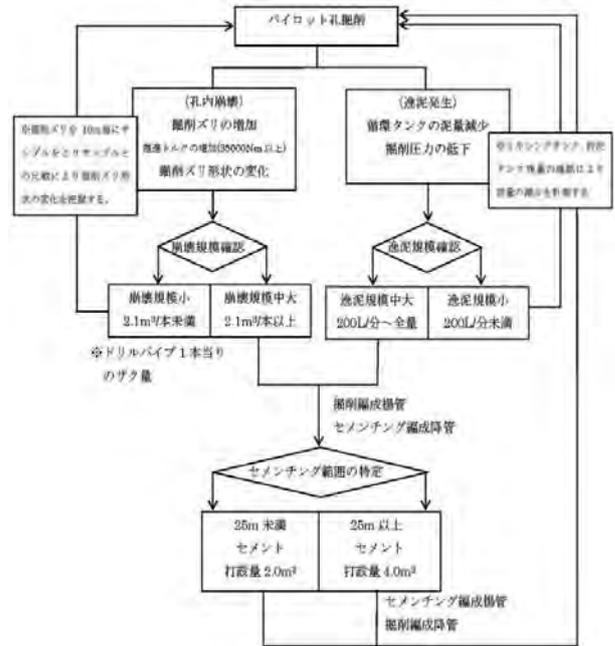
セメントベントナイトを逸泥箇所と孔内に充填・硬化させた後、逸泥箇所以外の余分なセメントベントナ

イトを掘削する。

⑨ビット先端を元孔深度まで掘削

ビットを逸泥箇所まで降下させ、泥水の循環を確認後、再掘進開始する。

※延長300mでのセメンチング一連の工程で概ね3日～4日である（図—8）。



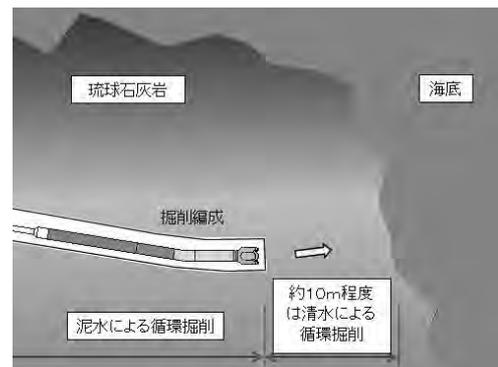
図—8 セメンチング管理フロー図

(7) パンチアウト（到達の意）

事前に海底調査・測量したポイントに掘削編成をパンチアウト（到達）する。海域の汚染・汚濁を防止するために以下の手順で施工する。

- ①位置・距離を計測しながら泥水循環による掘削
- ②パンチアウト手前10mで停止
- ③清水を循環し、泥水を置換する
- ④残り10mを清水で掘進しパンチアウトする

これにより、泥水による海域の汚染・汚濁を最小限に抑制する（図—9、写真—13～15）。



図—9 パンチアウト概略図



写真—13 パンチアウト状況



写真—16 本管敷設状況



写真—14 先端編成切断状況



写真—17 本管海底到達状況



写真—15 先端編成回収状況

- ①長距離の掘削が可能
 - ②あらゆる土質に対応可能
 - ③サンゴ礁などを回避し自然環境にやさしい
 - ④到達部が海域の場合に汚染を抑制
- といったメリットがある。

本工事で経験した不測の空洞が点在する琉球石灰岩は特異な地層であり、非開削工法全般的に施工が困難な地層である。本工法においても、同地層を施工する場合はセメンチング方法及び材料・注入方法の他にも掘削方法や泥水性状などの検討を行い、空洞・地層変化対策をさらに向上する必要がある。

先に述べたように長距離掘削ではそれ故にあらゆる地層に遭遇する。今後、様々な工事への適用を図り、より多くの場面で活用できる工法として、インフラ整備事業に貢献していきたいと考える。

JICMA

(8) 本管敷設

本工事は通信用として4"チュービング VAM FJL P110 (外径：101.6 mm, 内径：90.12 mm) を2条敷設した。陸上より水平推進機に本管をセットし、1条ずつ順次挿入していく。敷設後にメッセンジャーワイヤー (Φ6 mm) にて専用のゲージを導通し、性能試験を実施する (写真—16, 17)。

6. おわりに

上下水道および通信・電力線等のライフラインは建設からすでに30年近く経過したものが増加していく中、敷設替えを行う時には、自然保護の観点や地形・地勢条件から非開削での施工が求められるケースが今後多くなると想定する。

本工法リードドリル工法は冒頭述べた特長の他に

[筆者紹介]
 渡邊 康人 (わたなべ やすと)
 ㈱協和エクシオ
 土木事業本部



下田 雅一 (しもだ まさかず)
 日本海洋掘削㈱
 水平孔掘削事業部

