

地中埋設物を避けて削孔する「曲がり削孔工法」

構造物直下の液状化対策とタイロープ埋設位置探査の施工事例

植田 勝紀・青木 繁・青木 仁志

阪神淡路大震災以後、既設構造物直下の液状化対策が強く求められるようになった。「曲がり削孔工法」は、構造物直下を曲線的に削孔して地盤改良する施工法として開発された。施工実績のうち約9割が地中埋設物を避けて施工するものであった。本稿では、上下水道施設としては初めて採用された浄水場原水開渠直下地盤の液状化対策、および本「曲がり削孔工法」を用いて岸壁のタイロープ埋設位置を非開削で探査した施工事例を報告する。

キーワード：地盤改良，液状化対策，構造物直下，地中埋設物，タイロープ，磁気探査，曲がり削孔

1. はじめに

わが国は世界有数の地震国である。近年では、1995年に起きた阪神淡路大震災や、2007年には大型地震発生の可能性は低いといわれていた日本海沿岸を震源とする能登半島沖や新潟中越沖にて大型地震が相次いで起きている。このため、特に重要施設や危険物貯蔵施設等では、被災を最小限に食い止めるための液状化対策など、地盤補強の必要性が従来以上に求められるようになった。

こうした状況下、構造物や施設直下地盤を液状化対策する幾つかの工法が開発された。これは、浸透性の高い恒久型の薬液を地盤に浸透注入し間隙水を薬液に置換することで上部構造物に影響を与えることなく地盤改良するものである。本液状化対策工法はしだいに大型の構造物直下や障害物が多い地盤へと適用が拡大し、従来の施工法では容易に施工できないケースが多くなっている。この問題を解決するため、地上施設を供用したまま近隣の場所から直下の地盤に向けて3次元的な曲線を描いて削孔し、構造物直下の地盤を改良する「曲がり削孔工法」（以下、本工法という）が開発された。2001年に開発がほぼ完了したあと、徐々に適用事例は増えている。

本稿では、本工法の技術概要、および施工事例として名古屋市上下水道局において初めて採用された浄水場原水開渠直下地盤の液状化対策工事を紹介する。さらに応用技術として、地中（GL-4m付近）に埋設されたタイロープの埋設位置を探査するため、本工法と走行式磁気探査装置を組合せた地中磁気探査方法につ

いて、熊本県八代港外港地区（-14m）岸壁背面の地盤改良工事で採用された事例を報告する。

2. 構造物直下を地盤改良する従来の施工法

既設構造物や施設の直下地盤を地盤改良する従来の削孔方式は、地上からの鉛直削孔や斜削孔、立坑内からの水平削孔などで施工されてきた。図-1、図-2に従来の直斜削孔方式を示す。図-1の方式では直下部分に未改良域が発生することや、図-2の方式では立坑の用地が必要なこと、立坑構築・撤去のための費用が別途発生するなどの課題があった。

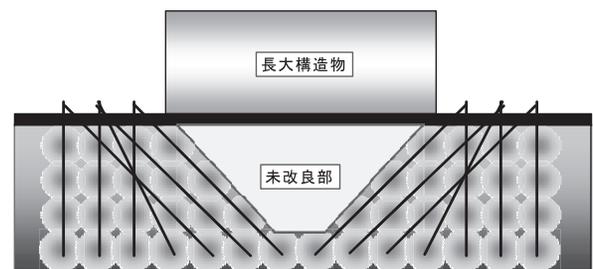


図-1 直斜削孔による施工

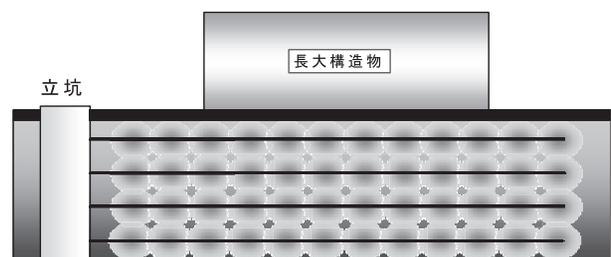
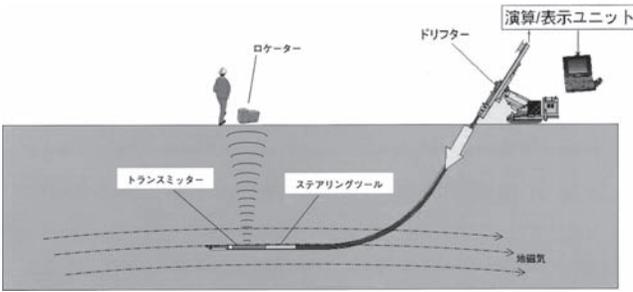


図-2 立坑内から横向き施工

直斜削孔の課題を解決する方法として、誘導式水平ドリリング工法（HDD 工法：Horizontal Directional Drill）といわれる曲がりボーリングの適用が考えられた。図一3に、主として欧米で発展してきた従来のHDD工法のイメージを示す。当初、この工法の適用が検討されたが、臨海部における液状化地盤には深度GL-10mを超える深い地盤や、基礎杭やタイロープ等で支持されている構造物が多く、これまでのHDD工法では十分な施工（削孔）は難しかった。



図一3 従来のHDD工法

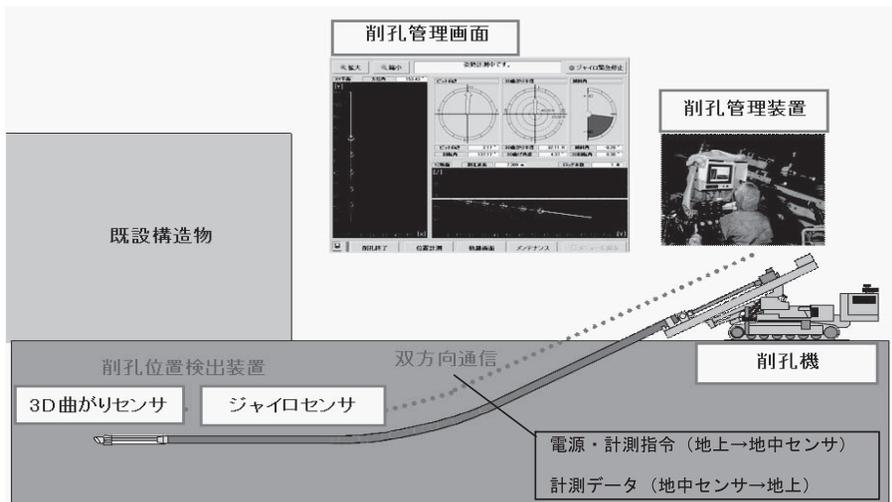
3. 「曲がり削孔工法」の工法概要

(1) 構造物直下地盤の削孔

「曲がり削孔工法」は、既設構造物を供用した状態で直下地盤を液状化対策する削孔法としてHDD工法をベースとして開発された。その特徴は以下である。

- ① 構造物直下の地盤に対して、曲線的に削孔することにより、未改良域のない地盤改良ができる。
- ② 地中に基礎杭などの障害物があっても、その位置が分かれば、曲がり性能の範囲でこれを避けて削孔できる。
- ③ 曲線性能は、最小曲線半径 30 mR、交角 30°、曲線部 2 か所で目標位置に誘導可能である。

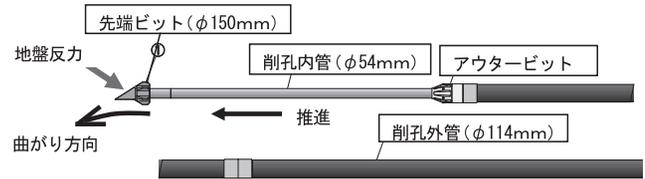
図一4に「曲がり削孔工法」の施工イメージを示す。



図一4 「曲がり削孔工法」の施工イメージ

(2) 削孔ロッドの構成

削孔内管が削孔外管を連行する二重管連行削孔方式である。直線削孔するときは削孔ロッドを回転して推進し、曲線削孔するときは削孔ロッドの回転を止めて、片テーパ形状の先端ビットが受ける地盤反力を利用して曲げ制御する。削孔位置を検出しながら目標位置に誘導する。図一5に削孔ロッドの構成を示す。



図一5 削孔ロッドの構成

(3) リアルタイムで姿勢を検出し位置算出

地盤を掘削して推進する技術には、直径十数メートルの大断面から数十ミリの小口径ボーリングまで、それぞれの目的に応じたさまざまな施工法がある。中でも、小口径ボーリングの削孔位置検出は光学的測量が困難であり、その他の計測装置に頼らざるを得ないという課題がある。本工法では新たな削孔位置検出装置を開発し導入した。これは、削孔ロッドに内蔵された新型の小型ジャイロセンサ（削孔ロッドの真方位・鉛直傾斜・回転位置の計測を行う）と、推進中リアルタイムで先端ロッドの曲がり量を検出する3D曲がりセンサの組合せから構成される。2種類のセンサユニットを組合せた理由は以下である。

- ① 削孔中は先端ロッドの曲がり量（姿勢・形状）をリアルタイムで把握して推進する。
- ② 曲線部では1.5mピッチ、直線部では3mピッチで削孔を一時停止し、小型ジャイロを起動して真方位・傾斜・回転等を計測し座標算出する。この結果、目

標位置達成量の過不足を把握する。

③上記、与えた制御量①と得られた制御効果②の相関から、次ステップの制御効果を予測して操作する。

4. 施工事例

(1) 浄水場原水開渠直下地盤の液状化対策

(a) 工事概要

名古屋市に隣接する名古屋市上下水道局の大治浄水場原水開渠直下地盤を液状化対策する工事である。水路全長 350 m のうち、約 200 m 区間が今回の工事対象区域であり、浄水場の設備を稼働した状態で施工するものである。供用中の浄水場施設直下地盤を施工するケースとしては初めての工事となった。写真—1 に原水開渠を、表—1 に工事概要を示す。



写真—1 原水開渠

表—1 工事概要

名称・規格	単位	数量	摘要
地盤改良工			
薬液注入工	m ³	5,353	
(内訳)			
曲がり削孔	本	59	
薬液注入	球	768	φ 2.37 m
目地部補強工	箇所	8	

(b) 「曲がり削孔工法」の適用

液状化対策の対象地盤は原水開渠底盤直下約 1.5 m、層厚約 2.2 m であり、この深度を水平に削孔して薬液注入するものである。浄水場内側開渠脇の地中には、配管類やこれを支持する基礎杭等が多々存在する。このため、比較的埋設物が少ない浄水場外の生活道路に面した盛土法面から開渠直下地盤に向けて削孔する計画であった。このため「曲がり削孔工法」が採用された。

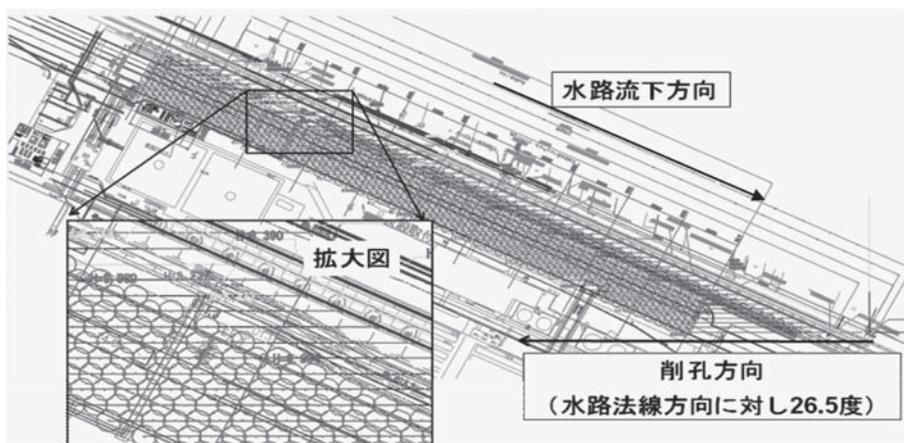
地盤改良の平面範囲は、水路の流下方向に 200 m、幅方向に 12.5 m と横長の区域である。この改良域を効率的に施工するため、「曲がり削孔」の削孔方向は開渠水路の法線方向に対して 26.5 度斜め方向に構えて一ラインの削孔長は約 50 m、鉛直曲線（半径 30 mR）の曲線カーブを施工した後、開渠直下を水平削孔することとされた。この削孔計画には以下の効果があった。

- ①開渠より場内側にある埋設物は障害にならない
- ②全削孔（約 50m 長）が同線形で単純化できる
- ③削孔機の道路占有幅が狭くなり片側通行が可能

写真—2 に片側通行を確保した施工状況を示す。図—6 に水路法線方向に対して 26.5 度の斜方向から曲がり削孔する 59 本の平面線形を示す。



写真—2 片側通行を確保して施工



図—6 曲がり削孔の平面線形

(2) 八代港外港（- 14 m）地区地盤改良工事における「曲がり削孔」によるタイロープ埋設位置探査

(a) 工事概要

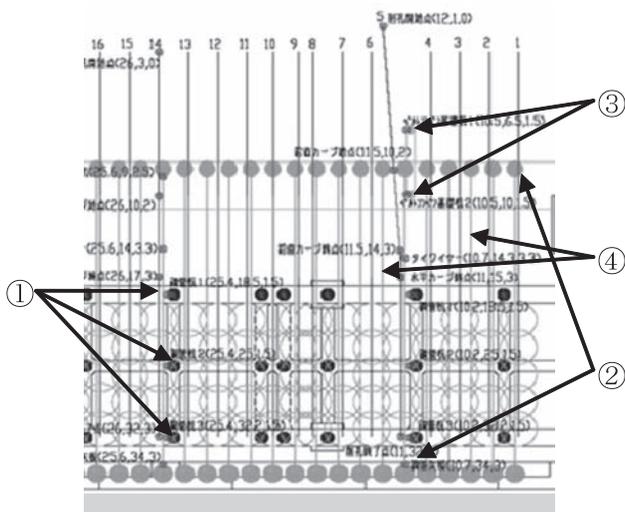
熊本県八代港外港地区（- 14 m）岸壁地盤改良工事は、岸壁背面地盤の土圧低減と液状化対策を目的とするものである。岸壁はアンローダが常時稼働中であり、荷役作業を中断させずに地盤改良を行う必要があった。このために、アンローダ基礎直下の表層地盤には「曲がり削孔工法」が採用され、斜削孔が可能な下層地盤は従来の直斜削孔方式が適用された。写真—3に、アンローダおよび接岸船舶の荷役作業状況を示す。



写真—3 岸壁の荷役作業状況

(b) 岸壁背面地盤の地中埋設物

地盤改良区域には、多くの地中埋設物が存在した。これらは全て岸壁を構成する構造物の一部であり、削孔時に傷めることが無いよう十分配慮しなければならない。地中埋設物は以下のもので、これらの概略平面位置を図—7に示す。



図—7 地中埋設物の概略平面位置

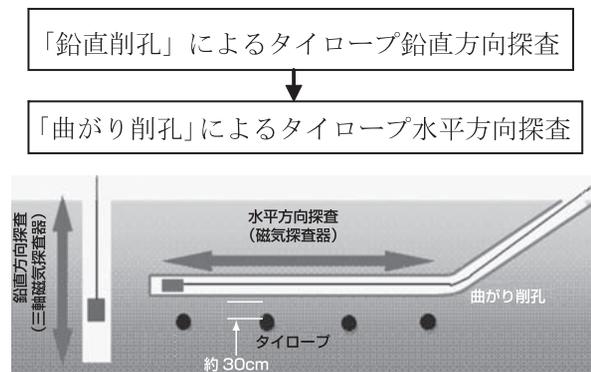
- ①アンローダ走行レールの基礎杭（黒丸）
- ②鋼管矢板とタイロープ控杭（緑丸）
- ③ベルトコンベア基礎杭（青丸）
- ④タイロープ（緑線）

埋設物のうち基礎杭①～③の位置は、過去の施工図および構造物の地表露出部等からおおむね判断することができた。しかし、深度GL - 4 m 付近に敷設された④のタイロープ埋設位置を特定することは難しかった。削孔計画を立案するにあたって、より確かなタイロープ埋設位置情報が必要であった。

(c) タイロープ埋設位置の探査方法

地中に存在する磁性体を検知する手段として磁気探査法がある。本工事では、タイロープ埋設位置を非開削で探査するために「曲がり削孔工法」と「走行式磁気探査器」を使用する新技術を導入した。

通常、磁気探査の課題として、探査器と被検知磁性体との離れ量が多い場合、様々な磁場ひずみが影響して正確な探査ができないという欠点がある。このため、まず鉛直の探査孔を3ヶ所設け、この孔に三軸磁気探査器を挿入することでタイロープの埋設深度を把握した。その後、この鉛直深度の探査結果からタイロープ上部（30～50 cm 離れ）を横断する方向に「曲がり削孔」による水平削孔にて探査孔を形成し、この孔内に走行式磁気探査器を移動させてタイロープの平面位置を探査した。図—8に「鉛直削孔」「曲がり削孔」による磁気探査手順を示す。



図—8 磁気探査手順

(d) 磁気探査結果

「曲がり削孔」削孔時の位置座標データ（削孔孔跡）と走行式磁気探査器の移動量および探査データをリンクすることで、タイロープの埋設位置が求められる。明確な磁気探査データが検知できたのは「曲がり削孔」の削孔ラインとタイロープの離隔距離が50 cm 以内に接近した区間であったが、本施工の削孔計画を立案するデータとしては十分であった。図—9に鉛直探査

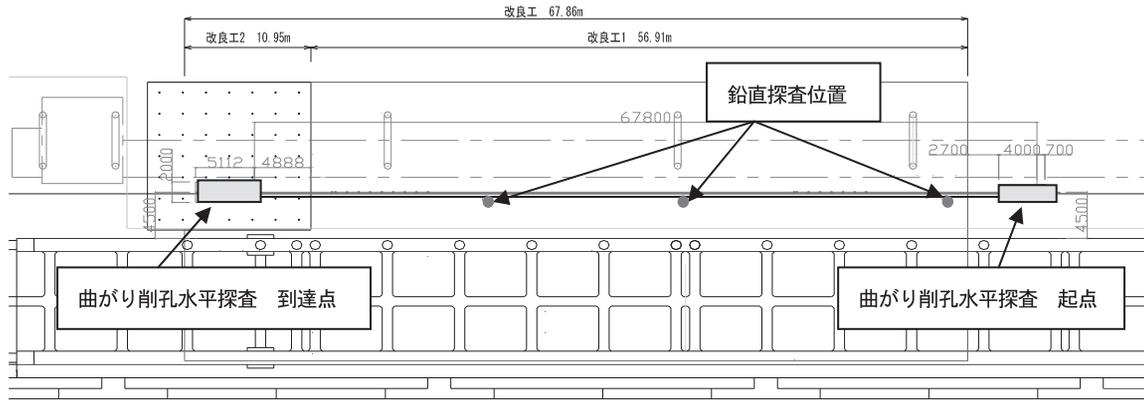


図-9 鉛直探査位置と水平探査位置

位置，曲がり削孔水平探査位置を示す。図-10に探査データ，および四角内の数値がX軸座標値を示す。写真-4に「曲がり削孔」探査孔からの磁気探査作業状況を示す。

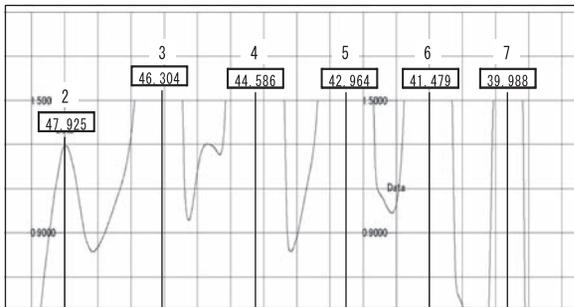


図-10 タイロープ探査データ



写真-4 「曲がり削孔」探査孔からの磁気探査

タイロープ埋設位置は、「鉛直削孔」の深度探査と「曲がり削孔」の水平位置探査にて、管理座標値の(X, Y, Z)が高い精度で把握できた。この実績から、本探査手法が深い深度に埋設された磁性体の非開削探査方法として有効に機能することが確認され、「曲がり削孔工法」応用技術の一例となった。

本工事では、こうした手法で地中埋設物の位置を探査することにより以下の目的を達成することができた。

- ①地中埋設物を避けた適切な削孔位置・間隔設定
- ②適切な薬液注入量と改良体球径の設定

③複数の改良球による改良地盤連続性の確保

5. まとめ

本稿では、「曲がり削孔工法」を用いた供用中の浄水場原水開渠直下地盤の液状化対策工事，および本工法の応用技術として，非開削によるタイロープ埋設位置探査法の施工事例を紹介した。日本の港湾や空港，また重要ライフラインである上下水道や発電所などの基幹施設は，臨海部の比較的軟弱な地盤に建設されているケースが多いといわれる。災害に強い国づくりが急がれるなか，構造物の撤去や立坑構築などの費用をかけずに，各種施設を供用したまま地盤改良できるメリットは大きいと思われる。今後は，さらに実績を重ね技術レベルの向上を図りたい。最後に，本工法の開発および実施に関して，数々のご指導を頂いた関係各位に対し，深く御礼申し上げる次第である。

JCMA

【筆者紹介】

植田 勝紀 (うへだ かつのり)
五洋建設㈱
土木本部
機械部 部長



青木 繁 (あおき しげる)
五洋建設㈱ 九州支店
熊本地区 総括所長



青木 仁志 (あおき ひとし)
五洋建設㈱
名古屋支店
工事所長

