

最新自在ボーリング技術を用いた液状化対策工事
- CurveX 工法による三次元削孔+障害物回避工法 左近水門液状化対策事例 -

ケミカルグラウト株式会社	正会員	○山野辺 純一
ケミカルグラウト株式会社	非会員	条川 政則
ケミカルグラウト株式会社	非会員	渡辺 昇
ケミカルグラウト株式会社	非会員	山中 一男
ケミカルグラウト株式会社	非会員	野呂 善孝

1. はじめに

近い将来発生するであろう巨大地震等の災害に備え、地上構造物の耐震補強などが進んでいるが、基礎地盤については既存構造物が存在している為、対策は難しく、液状化現象が発生すると、生産活動等に大きな影響を与えることがある。そこで、既存構造物直下の液状化対策工法として、自在ボーリング技術を用いた薬液注入工法「CurveX 工法（カーベックス工法）」がある。CurveX 工法は、遠隔から方向制御しながら既設構造物直下に薬液注入が可能な地盤改良工法として開発され、地上に影響を与えずに目標位置に削孔・注入が可能である。また、特殊な位置計測システムと専用削孔機及び特殊ツールの開発により、三次元の削孔を長距離かつ高精度に実現することが可能となった。CurveX 工法は、現在までに、28 件（約 50,000m）の実績がある。本稿は、CurveX 工法の特徴及び、供用中の水門の液状化対策を目的として行われた地盤改良工事について良好な結果を得られた為、報告する。

2. CurveX 工法の特徴

CurveX 工法の主な特徴は、以下の通りである。

- ①既設構造物を傷めず、かつ工場等の稼働を止めずに、構造物直下の地盤改良が可能である。
- ②特殊ロッドの使用により削孔中方向を何回も曲げることが可能である。
- ③削孔長 200m で半径 30cm 以内の精度が確保できる。
- ④最大入射角 30°, 最小曲率半径 30m で削孔できる。
- ⑤N 値 50 程度以下の地盤の削孔が可能である。
- ⑥アタッチメントの変更により薬液注入以外の工種に対応可能である。

3. 自在ボーリングの原理

自在ボーリングの原理は、構造物等の外部の離れた地点に施工機械を設置し、そこから直線削孔と曲線削孔を組み合わせることにより三次元的な削孔を行なうものである。図-1 に自在ボーリングの原理を示す。

①直線削孔

直線部の削孔時は、方向制御盤の付いたパイロットヘッドを回転させつつ押し込むことにより直線施工を実施する。パイロットヘッドを写真-1 に示す。



写真-1 特殊ロッドとパイロットヘッド

②曲線削孔

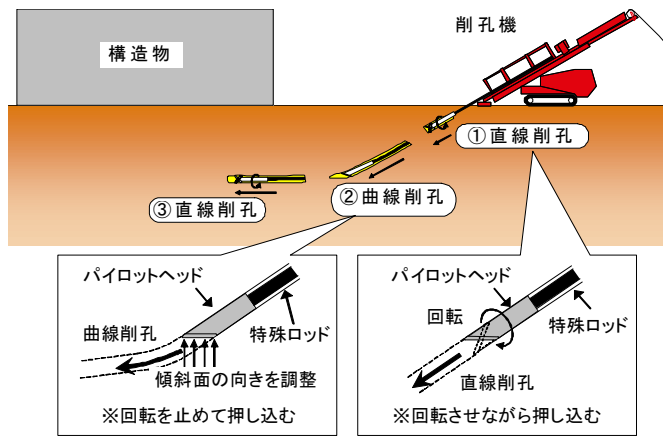
曲線部の削孔時は、パイロットヘッドの方向制御盤の向きを曲げる方向に調整し、特殊ロッドの回転を止めて押し込み、曲線を確保する。

4. 機械構成

薬液注入工事での CurveX 工法の機械構成は、削孔機、特殊ロッド、パイロットヘッド、位置計測システム、注入システム、プラント機器に分類できる。機械諸元を表-1 に示す。

キーワード 自在ボーリング, CurveX 工法, 液状化対策, 薬液注入, 地盤改良

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-5 ケミカルグラウト株式会社 技術開発部 TEL 03-5575-0471



①直線削孔と②曲線削孔を組み合わせ、三次元削孔を行なう。

図-1 自在ボーリングの原理

表-1 CurveX 工法削孔機諸元

削孔機	寸法(m)	7.3×2.1×4.3
	重量(kg)	8,000
	削孔回転数(rpm)	131/174/260
	削孔トルク (NM)	5,424
	推進力(kg)	8,000
	引抜き力 (kg)	11,000
特殊ロッド	全長(m/本)	2.9
	削孔径(mm)	φ 86～120

①削孔機

削孔機は水平削孔機（HDD 削孔機：Horizontal Directional Drilling）を改造したものであり、位置計測システム挿入装置を搭載している。写真-2 に CurveX 工法削孔機を、図-2 に削孔機の平面・側面図を示す。



写真-2 CurveX 工法削孔機

②特殊ロッド

CurveX 工法の特特殊ロッドは、CurveX 工法用に独自に設計・開発を行なったもので、貫通内径が 50mm 以上を有し、30m の曲率半径で曲げて削孔が出来、この貫通孔を利用して薬液工法以外にも種々の応用が可能となる。

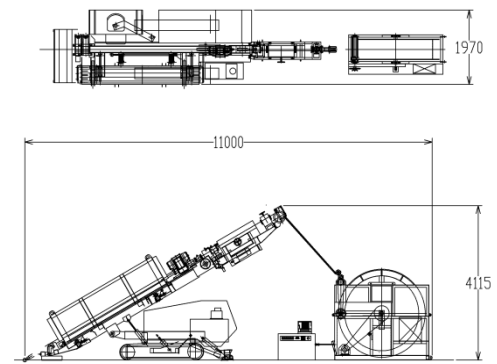


図-2 削孔機平面・側面図

③パイロットヘッド

削孔に当たっては、特殊ロッドの先端部にパイロットヘッドを装着する。この装置には、方向制御盤を取り付けており、形状は土質に応じて選択する。

④位置計測システム

位置計測方法は、様々な方法が開発されているが、CurveX 工法においては、挿入式のケーブル通信型位置計測システムを自社開発した。特徴として、

- ・地上に障害物があっても測定が可能。
- ・大深度でも計測が可能。
- ・電波障害などの影響を受けない。
- ・先端位置だけでなく全長の軌跡を測定できる。

位置の計測は、曲線部は 1 ロッド毎（2.9m 毎）に実施し、削孔の軌跡を確認し、その結果により修正を行う。

⑤注入システム

CurveX 工法は、様々な薬液注入工法に対応できるが、削孔と注入で機械装置を入れ替える、削孔注入分離型を適応することが多い。この削孔注入分離型には、スリーブ管を用いるダブルパッカ方式と、地山パッカ方式である鋼管特殊パッカ方式がある。

スリーブ管を用いるダブルパッカ方式は、地中にスリーブ管を残置でき、削孔長の短い場合に採用されることが多く、鋼管特殊パッカ方式は、注入管（スリーブ管等）を地中に残置が出来ない場所、また、削孔長の長い場合に採用される。また、鋼管特殊パッカ方式では、地山への注入を確実にする為、パッカの材質や膨張径等の改良・改善を行った。写真-3 に鋼製注入管を、写真-4 に注入時に用いる鋼製注入管引抜装置を示す。



写真-3 鋼製注入管（パッカ膨張）



写真-4 鋼製注入管引抜装置

⑥プラント機器

削孔に伴う機材として、削孔に用いるベントナイド泥水を作製する作泥ミキサー・水槽・使用した泥水を受ける排泥タンク・排泥圧送ポンプ等が必要となる。また、薬液注入用のプラント機器に関しては、一般的な機械で対応している。

5. 工事概要

工事目的：水門基礎地盤の液状化防止

対象土層：N 値 20 以下の砂層

対象構造物：幅 7.6m×奥行 6.5m×高さ 11.6m

コンクリート構造物（供用中の水門）

施工方法：CurveX 工法のうち削孔注入分離型

鋼管特殊パッカ方式

施工数量：削孔本数 8 本

削孔全延長 484.3m

本注入量 67.8 m³

改良率 40.5%

注入材：特殊中性・酸性薬液「エコリオン」

シリカ濃度 6%（配合試験より）

注入量：16L/min（限界注入速度試験より）

施工期間：平成 25 年 3 月 25 日～4 月 30 日

設計基準強度：120 k N/m²

6. 施工

遊歩道のある堤防に存在する水門直下の液状化対策であった為、施工ヤードとして確保できたのは、水門より 45m 程度離れた堤外側（河川側）の一部エリアであった。地中に基礎等の障害物が多いこと、堤体内に注入管などを残置出来ない等の理由により、CurveX 工法（鋼管特殊パッカ方式）が採用された。

施工仕様は、液状化判定により求めた設計基準強度を基に、室内配合試験を実施し、注入材のシリカ濃度を決定し、浸透注入の品質を確保する為、限界注入速度試験、土中ゲルタイム試験を実施し、注入仕様を決定した。また、削孔開始前に位置計測システムの精度を測量により確認した。



写真-5 位置計測システム確認状況

CurveX 工法の施工フローを図-3 に、手順図を図-4 に、施工平面図を図-5 に、施工断面図を図-6 に示す。

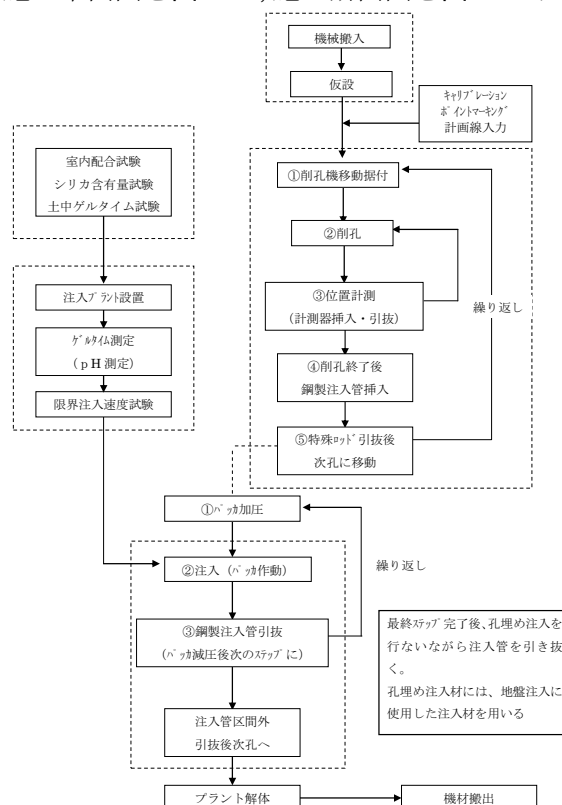
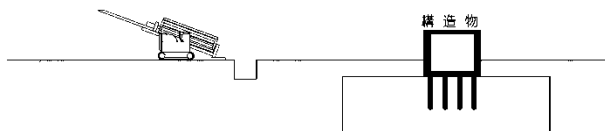


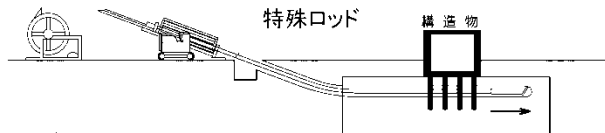
図-3 CurveX 工法施工フロー

削孔工（自在ボーリング）

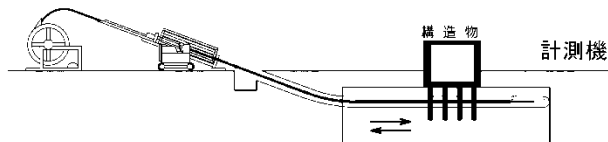
① 削孔機移動据付



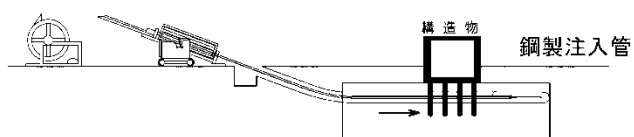
② 削孔



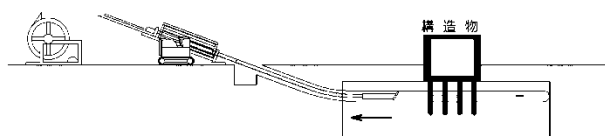
③ 位置計測(計測器挿入・引拔)



④ 削孔終了後、鋼製注入管挿入

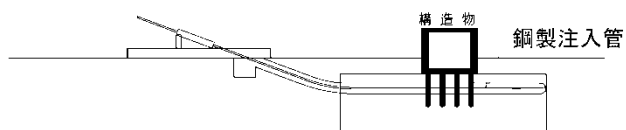


⑤ 特殊ロッド引抜き

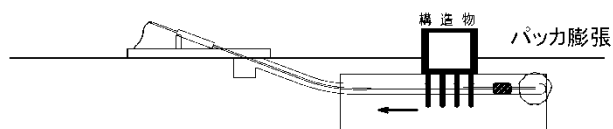


注入工

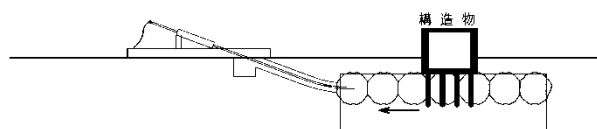
① 引抜き機械セット



② 注入 (パッカ作動)



③ 鋼製注入管引抜 (パッカ減圧後、引抜き②と③を繰り返す)



④ 穴埋め (注入完了後)

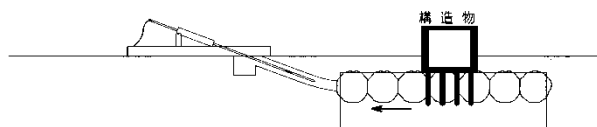


図-4 CurveX 工法施工手順図

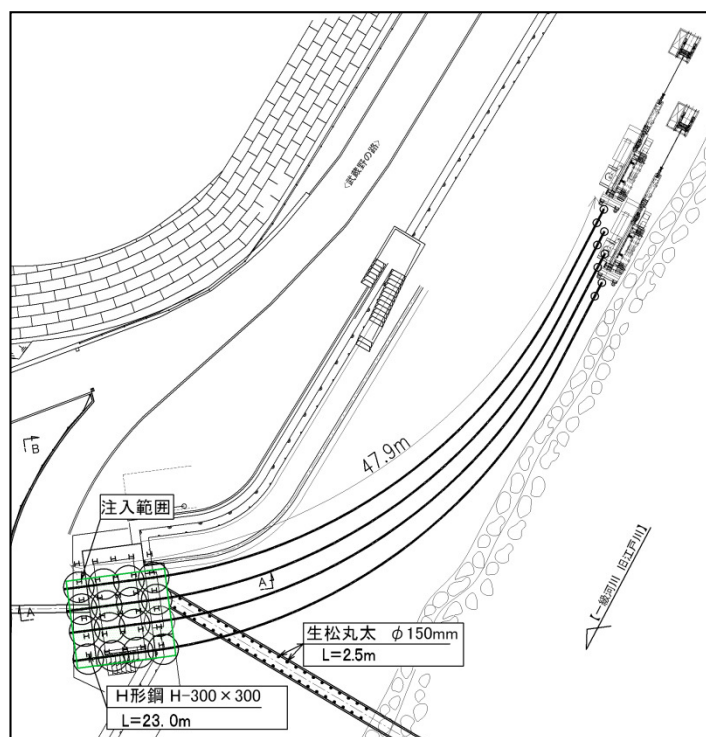


図-5 施工平面図



写真-6 施工ヤード全景



写真-7 液状化対策工事の対象構造物（水門）

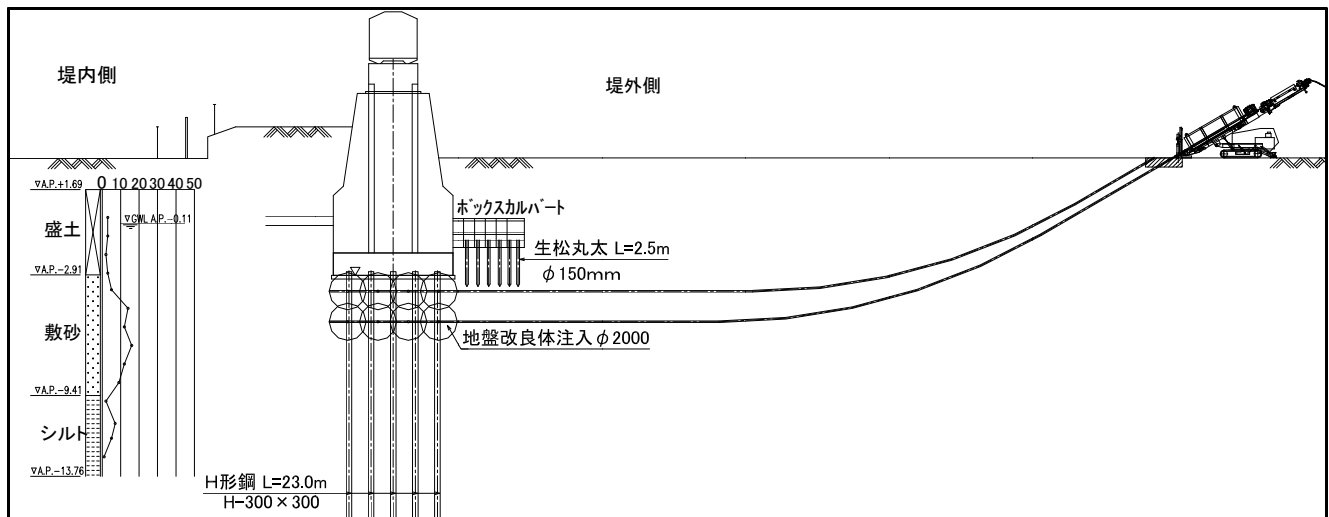


図-6 施工断面図

①削孔工

従来の自在ボーリングでは、一度の削孔に水平方向と鉛直方向はそれぞれ別に曲げることが多いが、今回の工事では、施工ヤードと改良範囲の間に存在している既存構造物の基礎（H型鋼や松杭）を避ける為、削孔は水平方向と垂直方向を同時に曲げる三次元削孔を行った。曲線削孔時には、ロッド毎に位置計測を実施し、削孔線を計画線形とほぼ一致し、注入範囲において誤差は、20cm以内となった。図-7に削孔軌跡の結果図を示す（赤線：計画線、青線：削孔軌跡）

②注入工

削孔が全て完了した時点で、注入作業を開始した。管理方法は定量管理とし、注入速度や注入圧の変化

に注意しながら施工を行った。また、注入時に、薬剤のリークも確認されず、構造物の変状も確認されなかった。写真-8に注入状況を示す。

③注入後の効果確認

作業完了後、注入の効果を確認する為、注入範囲内でコアサンプリングを行った。

供試体は3地点×2深度の6試料について一軸圧縮強度試験を実施した。また、シリカ含有量試験を実施し、土中内のシリカ分が事前に測定した未改良土より増加しているか否かを照査した。図-8に事後調査位置図を、表-2に一軸圧縮試験結果を、表-3にシリカ含有量試験結果を示す。

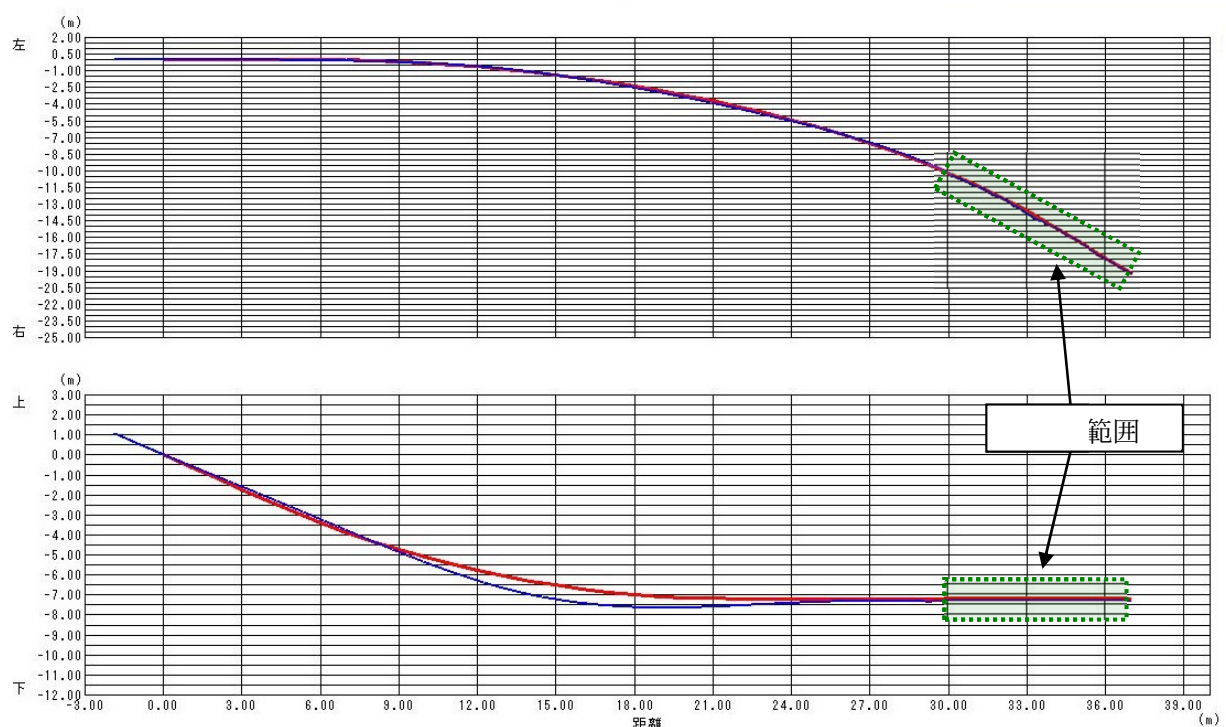


図-7 削孔軌跡結果図



写真-8 注入状況

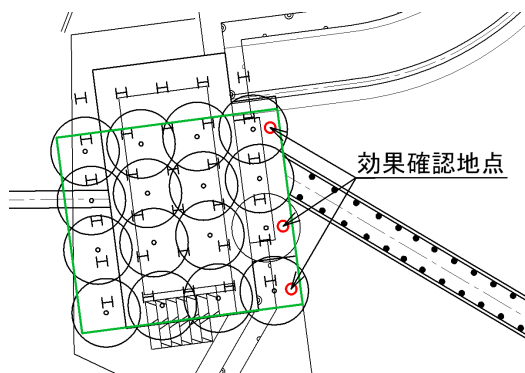


図-8 効果確認地点

表-2 一軸圧縮試験結果 28 日強度 (単位 : kN/m^2)

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
上部	125.4	130.1	125.6	127.0
下部	133.6	121.2	127.3	127.4

表-3 シリカ含有量試験結果 (単位 : mg/g-dry)

	未改良土	改良土	シリカ増加量
上部	0.37	13.33	12.96
下部	0.44	14.52	14.08



写真-9 採取供試体

コアサンプリングの結果、写真-9 に示す供試体が採取された。一軸圧縮試験の結果より、6 検体ともすべて設計基準強度 (120KN/m^2) を上回る結果となっ

た。また、シリカ含有量については、未改良土と比べ $13\sim 14\text{mg/g-dry}$ 程度の増加傾向となった。図-9 にシリカ含有量と一軸圧縮強度の結果を示す。本施工では、現場強度/室内強度比を 0.5 として設定していたが、結果をみると、強度比はほぼ想定通り 0.5 程度であった。よって、今回の地盤改良工の目的は達成したものと判断した。

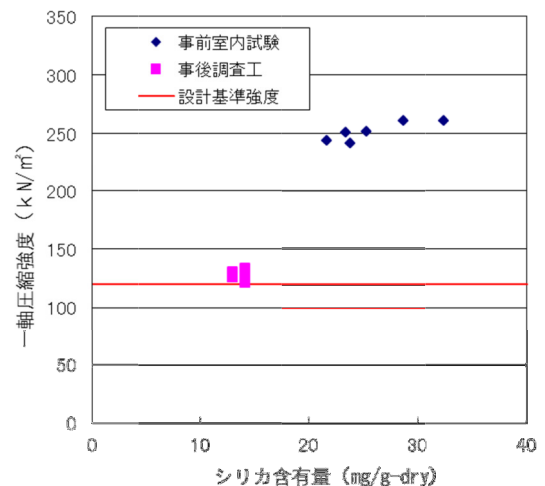


図-9 シリカ含有量と一軸圧縮強度の関係

8. おわりに

今回の工事では、以下に挙げる CurveX 工法の特徴によって、水平・垂直同時に曲げる三次元削孔を実施し、目的を達成した。

- ・三次元的に何度でも削孔方向を曲げられる特殊なツールを使用しているため、削孔線を計画線に合わせることができた。
- ・挿入型の位置計測システムを採用している為、全長に渡り軌跡の確認ができ、精度よく削孔完了し、注入を実施できた。

このように、CurveX 工法は、削孔機が設置可能な場所さえ確保できれば、何回でも・精度よく曲げることが出来る。この利点を最大限活用し、既存構造物を傷めることなく、工場等の稼働止めずに施工を行なえる工法として、薬液注入工法による液状化防止対策工法だけでなく、高圧噴射攪拌工法による耐震補強や、水平井戸を利用した地下水・土壤汚染の対策工事など様々な工事に応用が可能である。今後も、複雑な客先のニーズに対応できる工法として、更なる低コスト・高品質を目指し、提案を行なっていく。