

# 曲がり削孔式浸透固化処理工法

車田 佳範<sup>1</sup>・林 健太郎<sup>1</sup>・植田 勝紀<sup>2</sup>

<sup>1</sup>五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

<sup>2</sup>五洋建設株式会社 土木本部 機械部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)



浸透固化処理工法は、既設構造物直下に適用可能な液状化対策工法であり、現在までに改良対象土量として約48万 $m^3$ の実績を有する。しかしながら近年、液状化対策のニーズが大型の構造物直下での施工へと拡大してきたため、従来の施工方法である直斜削孔方式では未改良域が発生するといった課題があった。こうした課題に対して、地盤内を3次元的な曲線を描いて削孔し、広範囲の地盤に対して効率的な施工を可能にする「曲がり削孔工法」を開発した。

本報告は、浸透固化処理工法および曲がり削孔工法の概要を紹介するものである。

キーワード 液状化対策、既設構造物、浸透固化、曲線削孔

## 1. はじめに

我が国は世界有数の地震国であり、過去の地震による土木施設の被害は少なくない。これらの被害の主要因の一つが地盤の液状化現象である。液状化による施設の被害を防ぐためには、施設建設前に設計地震動に対して対象地盤の液状化判定を行い、液状化すると判定される場合には事前に地盤改良等により液状化対策を実施する必要がある。ところが、耐震設計法や液状化判定法が改訂される前に建設された施設については、施設直下地盤の液状化対策が必要となる場合がある。

このような場合、従来の液状化対策工法では一旦既存施設を撤去して施工を行う必要があるが、空港施設のように施設撤去や供用停止による社会的影響が大きい施設については、対策が事実上不可能となる場合が多い。

このような状況に鑑み、林ら<sup>1)</sup>は1993年度より既設構造物直下地盤に適用できる液状化対策工法である「浸透固化処理工法」の開発を行い、現在までに改良対象土量として約48万 $m^3$ の実績を有するに至っている。

近年、浸透固化処理工法による液状化対策のニーズが大型の構造物直下や限られた施工エリアからの施工へと拡大してきたため、従来の施工方法である直斜削孔方式では未改良域が発生するといった課題が生ずるようになった。こうした課題に対して、地盤内を3次元的な曲線を描いて削孔し、広範囲の地盤に対して効率的な施工を可能にする「曲がり削孔工法」を開発した。

本報告は、浸透固化処理工法および曲がり削孔式浸透固化処理工法の概要とそれらを用いた施工事例を紹介するものである。

## 2. 浸透固化処理工法

### (1) 工法の概要

浸透固化処理工法は、既設構造物直下地盤あるいはその近傍の液状化対策を行うことを目的として開発された工法である<sup>2)3)4)</sup>。本工法は、図-1に示すように、地盤をボーリングし、改良地点で溶液型の薬液を浸透注入し、その後薬液がゲル状に固化することで地盤改良するものである。すなわち、砂地盤内の間隙に含まれる間隙水をゲル状の固化体で置換することで砂地盤の液状化抵抗性を増進させる。したがって、地盤内にボーリング孔(注入孔)を設ける必要はあるが、既設構造物直下地盤に対して液状化対策が可能な工法である。注入される材料は、地盤への浸透性が良く、かつ恒久性を有しており、改良径は最大で約4mと高い浸透性能を有している。

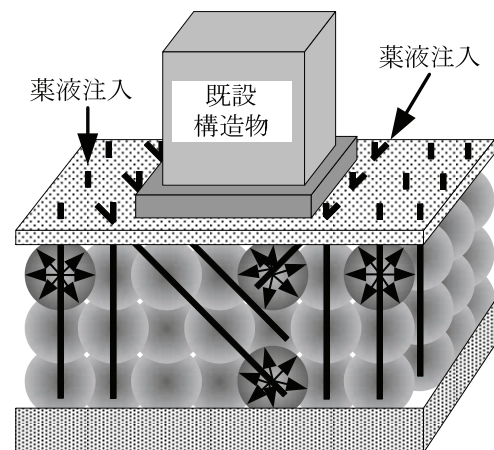


図-1 浸透固化処理工法の概要

## (2) 工法の原理

本工法が従来の薬液注入工法と異なる点は、表-1に示すように、①一つの注入孔から広範囲（直径2~4m）の地盤に薬液が浸透注入されること、②改良後の強度が低強度（一軸圧縮強さ $q_u=50\sim150\text{kN/m}^2$ 程度）であること、③恒久型の薬液が使用されることである。

表-1 従来注入工法との比較

	従来工法	浸透固化処理工法
改良規模	局所的が多い	大規模
浸透範囲	50cm程度	150~200cm
改良強度	200~1,000 $\text{kN/m}^2$	50~150 $\text{kN/m}^2$
耐久性	仮設が多い	永久構造物

図-2に、本工法の改良原理を示す。また図-3に、直径2.5mの改良体の試掘状況を示す。

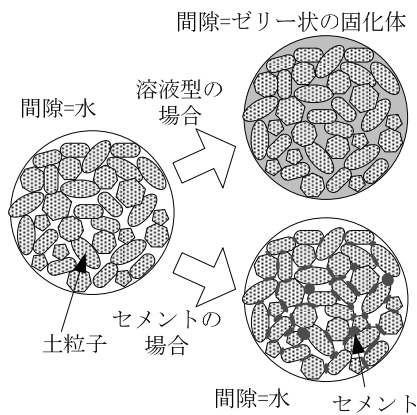


図-2 改良原理



図-3 改良体の試掘状況

## (3) 薬液の特性

本工法において使用する薬液は、水ガラスを主剤とする溶液型のシリカ系の薬液である。従来の水ガラス系薬液は、固化後シリカ分が溶脱するため耐久性に問題があり、一般に仮設工事において使用される。本工法において使用する水ガラス系薬液（活性シリカ）は、劣化成分であるアルカリ分（ナトリウムイオン）をあらかじめ水ガラスから除去することにより固化体からのシリカの溶脱を防ぎ、長期耐久性を有する<sup>9)</sup>。

## 3. 曲がり削孔工法の開発

### (1) 工法の概要

浸透固化処理工法を大型構造物直下やタンク基礎地盤に適用する場合、従来の施工方法である直斜削孔方式では、未改良域の発生（図-4）や立坑構築（図-5）が必要になるという課題があった。「曲がり削孔工法」は、こうした課題に対して図-6に示すように、地盤内を3次元的な曲線を描いて削孔し、広範囲の地盤に対し効率的に液状化対策できる施工方法として開発した。

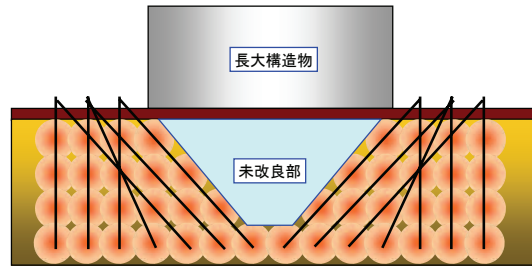


図-4 未改良域の発生

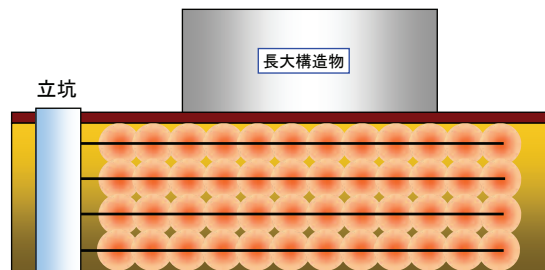


図-5 立坑構築による改良

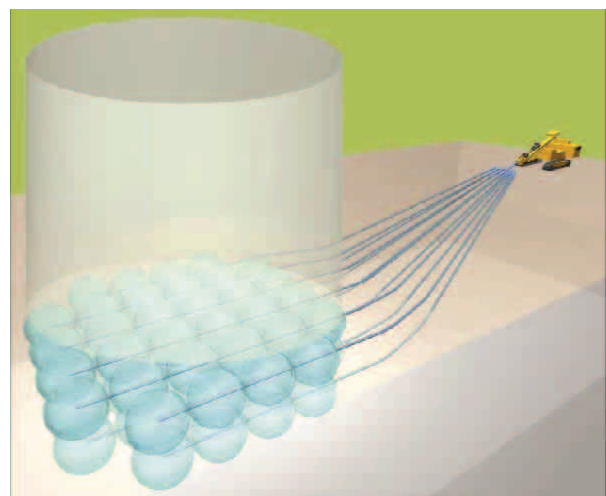


図-6 曲がり削孔工法イメージ図

「曲がり削孔工法」は、既設構造物直下への浸透固化処理工法をより効率的に施工するものであり、以下の特長を有する。

- ①施設や既設構造物の供用を止めずに、隣接した場所から直下地盤を改良できる。
- ②曲線半径30mの2曲線を含む延長100m程度までの目標ルートを高精度に誘導制御できる。
- ③1本の削孔ラインに串団子状に複数の地中点を改良できるため、効率的な施工が行える。

**(2) 削孔および薬液注入の施工**

削孔と薬液注入の施工方法概要を図-7に示す。

①の削孔工程では削孔内管（鉄製）と削孔外管（ポリエチレン製）の二重管を連行させ、曲線的に制御しながら削孔する。到達地点で先端ビットは切り離され削孔内管を抜管する。地中に残された削孔外管をガイドとして、その中に注入外管を建て込む。注入外管建て込み完了後、最後に削孔外管を抜管し一連の削孔工程は終了となる。

②の薬液注入工程では、注入外管に取り付けられた特殊スリーブパッカーにCB（セメントベントナイト）を充填・膨張させ孔内に隔壁を作る。その後、この隔壁間の薬液注入ポイントから順次薬液を浸透注入させるものである。

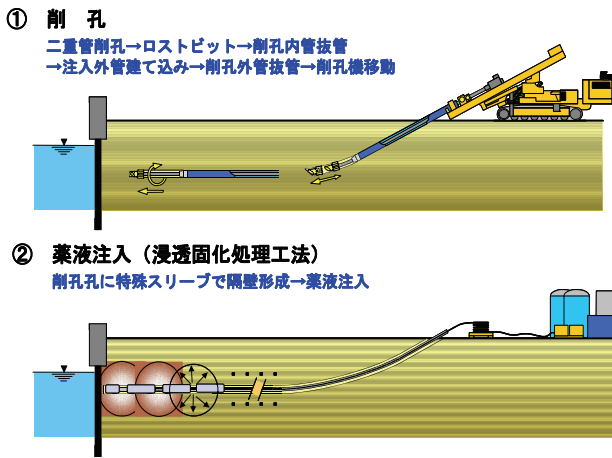


図-7 施工方法概要

**(3) 削孔位置検出システム**

削孔位置検出システムを図-8に示す。削孔ロッド先端部に3D曲がりセンサ、その後部に位置検出を行うジャイロセンサユニットが組み込まれている。

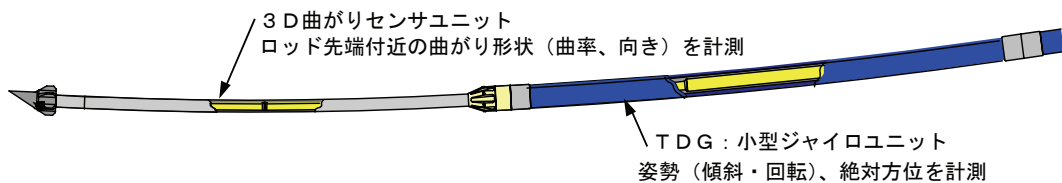


図-8 削孔位置検出システム

3D曲がりセンサは、削孔時の先端ロッド付近の曲がり状態を常時検出し、オペレータの運転操作による制御効果を把握するデータとなる。小型ジャイロセンサは削孔ロッドの水平方位と鉛直傾斜を計測し、数m毎にジャイロセンサ装備部位の3次元座標を検出する。方位は地球の自転角速度を検出し絶対方位（真北からの角度）を得る原理であり、計測時には一時（約3分）削孔中断する。曲線施工時は1.5m、直線施工時は3m毎に削孔位置を把握し目標達成度を確認しながら計画路線に誘導する。

**(4) 削孔位置を制御する方法**

削孔ロッド構成を図-9に示す。①の削孔先端ビットは片側に傾斜面を持つさび形状となっている。直進するときは、削孔ロッド全体を回転させながら推進する。曲げ制御するときは、回転を停止し、先端ビットの傾斜面を曲げようとする反対方向に向け推進する。このときの地盤反力は、ビット傾斜面側が強くなるため、曲げ制御が可能となる。②の削孔内管は鋼製で最大曲がり半径30mRが可能である。③は拡張用のアウタービット、④の削孔外管は十分に柔軟性を持つポリエチレン製である。

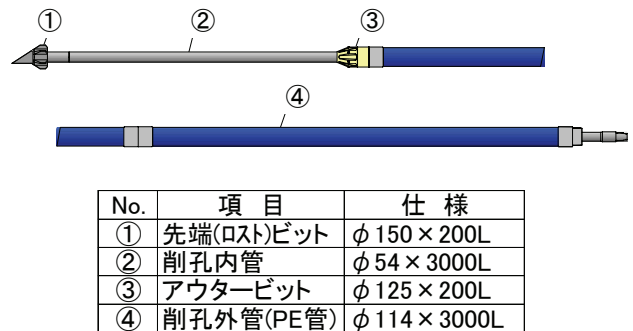


図-9 削孔ロッド構成

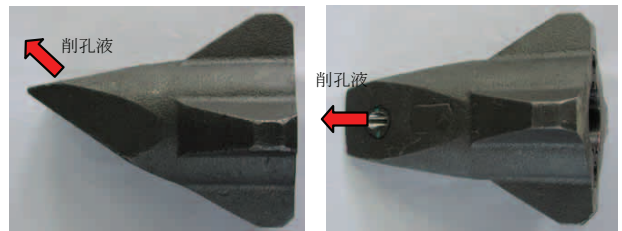


図-10 先端ビット

### (5) 実証実験

本工法の開発では、細砂から粗砂まで全国各地の異なる砂質地盤にて総削孔長 8,000m を越える実験をおこない、細部の技術改良を重ねることにより、曲線施工性、長距離施工性、位置検出精度の完成度を高めてきた。

以下に実験の一例を紹介する。水平と曲線半径 30m の 2 曲線を含む延長 107m を削孔し、削孔ラインの水平直線部と曲線部の地盤にて薬液注入をおこなった。削孔後、開削による改良体の出来形確認を実施し、浸透固化の薬液注入による改良効果を検証した。図-11 に実験状況を示す。



図-11 実験状況

表-2 に位置検出誤差確認結果を示す。

削孔距離 100m での誤差は約 30cm であり、高精度で曲線削孔できることが確認された。

表-2 位置検出誤差確認結果

No.	1	2	3
Y座標(m)	98.11	72.15	40.83
計測誤差 (cm)	$\Delta X$	-26	-16
	$\Delta Z$	15	13

図-12に、改良体開削確認状況を示す。



図-12 改良体開削確認状況

### 4. おわりに

本報告では、既設構造物直下の液状化対策としての浸透固化処理工法および新たに開発した曲がり削孔工法の概要を紹介した。

曲がり削孔工法は、多様化する施工条件に対応するために開発された施工方法であり、地上の既設施設を供用したまま、近隣の地表面から曲線的に削孔して地盤改良するものである。本工法はこれまでに、道路橋脚、危険物貯蔵タンク、河川防潮水門、アンロード基礎等の既設構造物直下の地盤改良工事に採用されており、削孔延長約16,000mの施工実績を有する。

日本の臨海地域には、空港施設や重要港湾、また発電施設など重要構造物が多く存在する。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膨大な費用をかけずに、各種構造物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と考えている。



図-13 曲がり削孔機

### 参考文献

- 1) 林健太郎, 善功企, 山崎浩之, 林規夫: 溶液型薬液注入工法の浸透および強度特性に関する大型土槽実験, 土木学会論文集, No.694, III-57, pp.221~228, 2001.
- 2) 山崎浩之, 前田健一, 高橋邦夫, 善功企, 林健太郎: 溶液型注入固化材による液状化対策工法の開発, 港湾技術研究所資料, No.905, 1998.
- 3) 山崎浩之, 善功企, 河村健輔: 溶液型注入工法の液状化対策への適用, 港湾空港技術研究所報告, 第41巻, 第2号, 2002.
- 4) (財)沿岸開発技術研究センター: 浸透固化処理工法技術マニュアル (改訂版), 2008.
- 5) 米倉亮三, 島田俊介: 薬液注入による長期耐久性の研究, 土と基礎, No.419, pp.17-22, 1992.