

自在削孔技術を用いた土壌地下水汚染対策用 傾斜井戸設置工法の開発

伊藤浩¹・遠藤修²・濱地宏章³

¹東急建設株式会社 土木総本部環境技術部（〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14）

²正会員 工修 東急建設株式会社 土木総本部環境技術部（〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14）

³工修 東急建設株式会社 土木総本部環境技術部（〒150-8340 東京都渋谷区渋谷1-16-14）

建物直下の土壌地下水汚染の対策工法として、自在削孔技術を応用して揚水処理や薬剤注入など浄化対策を行える傾斜井戸設置工法を開発した。建物直下の汚染箇所に対し建物外から片押しによる削孔ができるため、建物内の作業を行わず汚染対策用井戸の設置や浄化用薬剤の注入などを可能とする。

本報では、開発した小型および大型の施工マシンによる工法の紹介と、実汚染サイトでの傾斜井戸設置の施工状況および位置計測状況、設置した傾斜井戸の井戸機能確認および揚水処理効果の検証等について報告する。

キーワード：土壌地下水汚染対策，建物直下，自在削孔，傾斜井戸，揚水処理

1．はじめに

土壌・地下水汚染は、主に工場等で使用する有害物質を含む液体などが漏洩し、地表面から地中へ浸透して引き起こされる。物質の特性により浸透や拡散の程度は異なるが、物質に抛らず高濃度の汚染は工場等の建物直下に存在することが比較的多い。特に、金属脱脂やクリーニングなどの溶剤として使われる有機塩素系化合物は、環境基準値や土壌汚染対策法における指定基準値に対して数千から一万倍を超えるような高濃度のものが見つかることがある。また、浸透しやすかつ移動しやすい性質をもっているため、汚染が拡散しやすい。

このような汚染が土壌・地下水汚染調査によって判明した場合、汚染リスクを最小限に留めるためには早急に効果的な対策をとることが望ましい。操業中工場等の建物直下では、掘削や攪拌が行えないため井戸やボーリングによる対策をとらざるをえないが、建物内での作業や施設配置等により汚染対策施工の制限があり建物外からの施工が必要となる場合もある。

そこで、横断管路の非開削掘進工法である自在削孔技術を改良し、建物の外から片押しで汚染箇所まで削孔を行い、対策井戸を設置して浄化対策を行える工法を開発した。

本報では、開発した小型および大型の施工マシンによる工法紹介と、実汚染サイトでの傾斜井戸設置の施工状況および位置計測状況、設置した傾斜井戸の井戸機能確認および揚水処理効果の検証等について報告する。

2．工法概要

(1)工法概要

工法の概念図を図-1に示す。建物直下の汚染箇所に対し自在削孔技術を用い片押しによる掘進を行うとともに、同時に井戸管の設置を行い、対象物質に応じて揚水処理工や薬剤注入工、ガス吸引工などの対策を実施する。

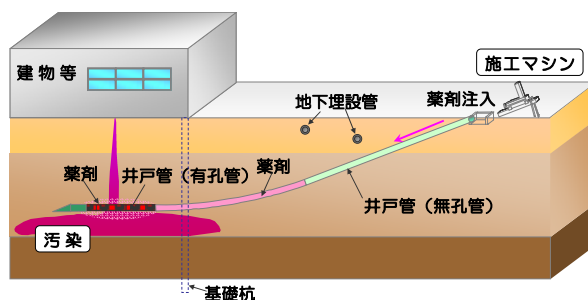


図-1 工法概念図

なお、井戸を設置せず、削孔後引抜き時に地盤内に直接薬剤を注入する方法も可能である。

自在削孔技術において掘進方向を変える原理を図-2に示した。本技術では、先導管が片楔形状をしており、直進する際は先導管を回転させながら推力を与えて直進させ、曲げる際は先導管を回転させずに推力だけを与えて地盤の反力を利用し曲げることができる。先導管には発信機を内蔵し、地中に電波を阻害する支障物等がなければ、地上から位置を確認する事ができる。

建物外から施工を行えるため、建物内の作業等の支障にならず、建物床なども傷めず対策が可能となる。

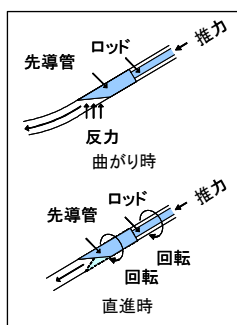
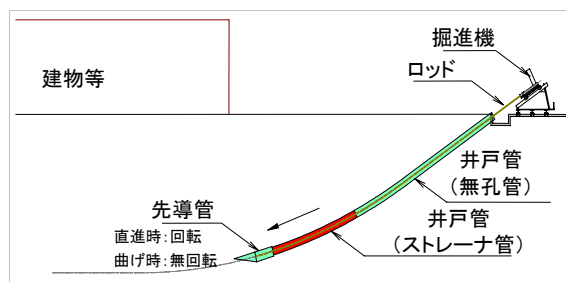
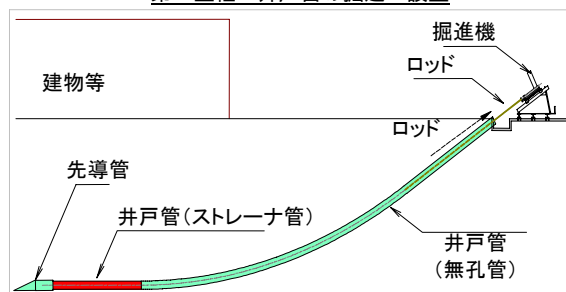


図-2 掘進の原理



第1工程 井戸管の掘進・設置



第2工程 ロッド引抜き、井戸完成

図-3 施工手順

(2)工法の特徴

表-1 に建物直下の土壌・地下水浄化に利用可能と考えられる井戸設置技術を示した。本工法では、従来の片押タイプと同様に作業ヤードは1箇所済み、狭隘な敷地での施工が可能となる。また、図-3に示したように、先行削孔をせず最初から井戸管を用いた削孔が可能のため、井戸管設置工程が最低2工程で可能なこと、さらに外側の管やロッドに井戸管を挿入する必要がないため、より大きな径の井戸設置が可能なのが特徴である。

井戸部は、先導管と、先導管に回転力および推進力を伝えるロッド、このロッドの外側に先導管と同じ径の井戸管を接続させる構造となっている。また、ストレナ部は、削孔により井戸を設置する際にストレナ部から井戸管内に土砂が大量に流入することを防ぎ、施工完了後は必要な開孔部が復元される構造となっている。

(3)推進マシン

推進マシンは、操業中工場では狭隘な場所が多いことから、スペースに応じた選択ができるように、既存のマシンを改良し小型・大型のマシンを開発した。小型マシンを写真-1、大型マシンを写真-2に、また各マシンの仕様の概要を表-2に示す。



写真-1 小型マシン



写真-2 大型マシン

表-1 建物直下の井戸設置技術の比較

タイプ	工法概要	特徴
引込みタイプ	・ロッド削孔→建物反対側到達→バックリーマによる井戸管引込み	・作業ヤード2箇所
立坑設置タイプ	・立坑を設置し水平直線ボーリングにより水平井戸を設置	・立坑設置 ・曲げられない
片押タイプ	・二重管削孔→内管引抜→井戸管挿入→外管引抜 ・ロッド削孔→インナーヘッド回収→ロッド内井戸管挿入→ロッド引抜	・作業ヤード1箇所 ・最低4工程必要 ・推進マシン大型
本工法	・片押タイプ ・ロッド+井戸管削孔→ロッド引抜 ・小型マシンあり	・作業ヤード1箇所 ・最低2工程必要 ・大口径

表-2 推進マシンの仕様概略

項目		小型マシン	大型マシン
マシン本体	マシンサイズ(m)	2.1×0.9	3.5×0.9
	作業スペース(m)	3.0×2.0	6.0×2.0
	最大推力 (t)	20	50
井戸管・ロッド長 (mm)		610	1500
運搬		4t 車 1台 2t 車 1台	4t 車 2台 2t 車 1台

(4)位置計測

掘進時の位置確認は、通常、写真-3(1)に示す受信装置で、地中にある先導管内の発信装置から送られる信号を直上の地上部で受信する方法で行う。しかし、基礎コンクリートに鉄筋が配置されている場合や、地中に電線の配管がある場合、この位置計測方法が不可能となる。

そこで、写真-3(2)に示した挿入式測位センサを用い管の軌跡を計測する位置計測システムを採用した。測位センサは削孔ロッドに内挿できるタイプとした。なお、測位センサの精度は、地上での精度確認試験により延長30 mで±0.5%を確認している。



(1)地上受信装置

(2)挿入式測位センサ

写真-3 位置計測システム

3．実サイトでの井戸施工

(1)サイト状況

実サイトは、図-4に示すように、過去に使用した有機塩素系化合物により、土壌と地下水の汚染が引き起こされた操業中の工場である。鉛直井戸による対策を基本として行っているが、汚染範囲は建屋内の稼働中の機械下にも分布しており、揚水処理および薬剤注入による浄化を効率的に行うために、建物

の外側から傾斜井戸を構築した。施工は2回に分けて実施し1回目の施工では小型マシンで1本の揚水・注入兼用井戸を設置し、2回目は大型マシンで3本の注入用井戸を設置した。

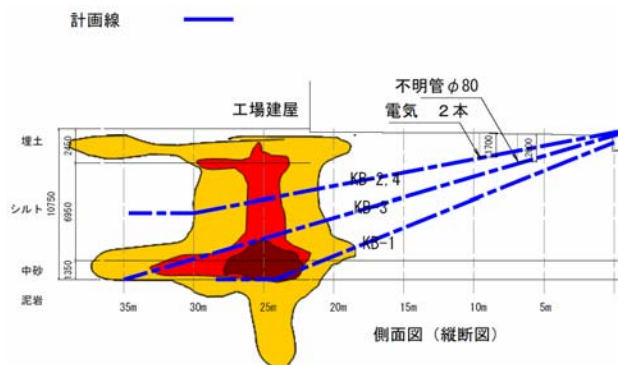


図-4 汚染状況推定図と井戸計画位置

(2)井戸仕様

設置した井戸の仕様を表-3に示す。井戸管は内径φ95 mmの鋼管で、小型マシン用は単位管長610 mmでネジ接続、大型マシン用は単位管長1500 mmで現場自動溶接とした。井戸管を写真-4および写真-5に、自動溶接状況を写真-6に示す。

井戸延長は30 mと35 m、到達深度は、GL-6 mと-11 mとした。ストレーナ部は開口率10%とし、揚水・注入兼用井戸では有孔部を連続4.3 m分、注入用井戸では有孔部（50 cm）と無孔部（50 cm）を50 cmピッチに配置した。

表-3 傾斜井戸仕様

項目	小型マシン	大型マシン		
	KB-1	KB-2	KB-3	KB-4
用途	揚水・注入	注入		
管材・管径(mm)	鋼管 内径φ95			
単位管長 (mm)	610	1500		
接続方法	ネジ接続	現場自動溶接		
延長 (m)	30	35	35	35
深度 (GL-m)	11	6	11	6
ストレーナ長 (m)	4.3	10.5 (50cm ピッチ)		



写真-4 井戸管（小型マシン用）



写真-5 井戸管（大型マシン用）



写真-8 井戸管削孔（大型マシン）



写真-6 自動溶接状況

(3) 施工手順

本工法は、通常先行削孔を必要としないが、今回の施工では 15～20 m 先にある工場基礎杭の脇を 300～600 mm 離れで通過する計画であったため小口径の先導管を用いて先行削孔を行い、基礎杭に当たらないことを確認してから井戸管の削孔を行った。施工手順を以下に示す。

先導管削孔（測位センサにより削孔位置確認）

先導管の引抜き

井戸管削孔

（測位センサにより削孔位置確認）

計画位置到達後、測位センサにより管位置確認

ロッド引抜き・回収

ボアホールカメラによる本管内部状況の確認

小型マシンと大型マシンによる井戸管の削孔状況について、それぞれ写真-7と写真-8に示した。



写真-7 井戸管削孔（小型マシン）



写真-9 井戸管内確認状況



写真-10 井戸管内

4. 施工結果

(1) 井戸管内確認

施工により、井戸管の継ぎ目の損傷や、ストレーナ部からの土砂流入がないか確認するため、管内の様子をボアホールカメラにて確認した。ボアホールカメラによる確認状況を写真-9に、管内状況を写真-10に示す。

この結果、管の継ぎ目の損傷や土砂流入はなく、井戸管およびストレーナ管の敷設に問題のないことを確認した。ストレーナ部からは、水の浸出および揚水後の水位回復も確認されたため、ストレーナが形成され、揚水井戸としての機能が確保されたと考えられる。

(2)管敷設置位置

同じ深度（GL-11 m付近）を目標として、小型マシンで施工した揚水注入兼用井戸のKB-1および大型マシンで施工した注入用井戸KB-3の位置測位システムによる出来形計測結果を図-5に示す。小型マシンで施工したKB-1は、縦断方向で計画線よりも緩い勾配となったがストレーナ部は対象とした砂層に達してほぼ目標位置へ到達した。また、平面方向は既設杭を避けるため屈曲（R=85 m）させ目標位置に到達させた。

大型マシンで施工したKB-3は縦断方向で、計画線よりも若干急勾配となったがストレーナ部は目標地点まで到達した。縦断方向の勾配は、シルト層が軟弱であるため、先導管の重量により影響を受けたと考えられる。

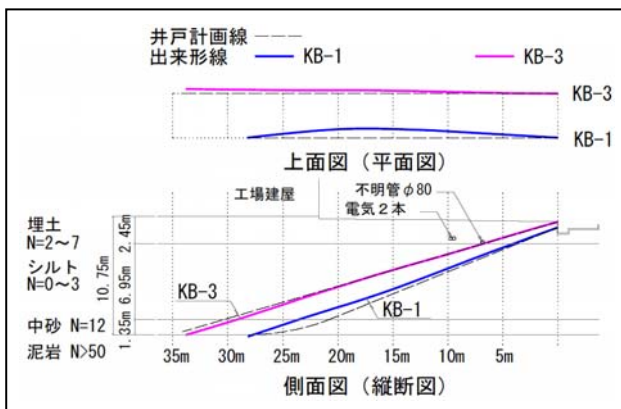


図-5 位置計測結果

(3)自在ボーリング施工による影響

地盤沈下等の影響については、サイトで定期的に行っているレベル測量、土間コンクリートの亀裂測定を、自在ボーリング施工前、および施工後に実施し、沈下や隆起などの影響は見られていないことを確認した。

また、地下水への影響についても、敷地内観測井戸について、施工前および施工後に地下水位および地下水質の観測を実施し影響のないことを確認した。

5. 傾斜井戸による揚水状況

小型マシンにより設置した揚水用の傾斜井戸(KB-1)を写真-11に、水処理設備を写真-12に示す。この井戸について揚水能力の確認を行った結果、6~8 ℓ / 分の揚水量があり、同じ帯水層に設置していた既設の揚水井戸（井戸径300mm）と同等の揚水量が得

られることがわかった。

本サイトでは広範囲の汚染を除去するため本傾斜井戸1本と既設の鉛直井戸2本の計3本の揚水処理を実施したが、既設井戸からの揚水量が元々少なく、揚水による地盤沈下も懸念されたため3本の総揚水量の制限を行い、傾斜井戸の揚水量は2~3 ℓ / 分程度に設定して、揚水を実施した。この傾斜井戸の稼働後の揚水量を図-6に示す。稼働開始後、揚水は順調に行われており、井戸の機能を十分果たしていることが分かった。また、本傾斜井戸による揚水処理は約1年間継続して行い、ストレーナ部の目詰まり等は特に認められなかった。

なお、揚水開始後も地盤沈下測定を継続して実施しており、傾斜井戸の揚水による沈下のないことを確認している。



写真-11 揚水状況



写真-12 水処理設備

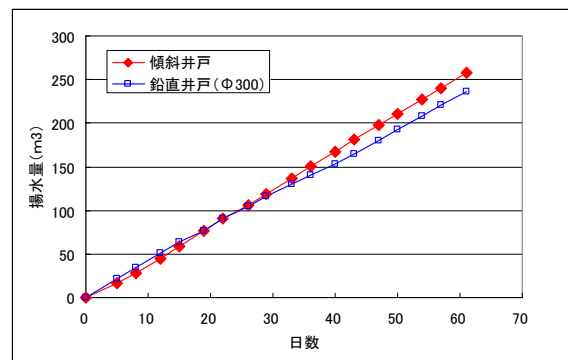


図-6 傾斜井戸の揚水量（累計）

6．薬剤注入

注入用井戸の設置完了後、バイオスティミュレーションによる浄化を行うため薬剤注入を行った。注入状況を写真-13に示す。

使用する薬剤は、地中に注入後、水と反応して水素を放出し、土壌在来の還元性微生物の活性化を促し、その微生物の働きによりVOCを段階的に脱塩素化して浄化を促進するものである。地中への注入は、圧力により地中の間隙内へ薬剤を押し込んで反応させるものではなく、薬剤から徐々に放出する水素が徐々に地中を嫌気性に変え、微生物を活性化させる。したがって薬剤を注入する際にほとんど圧力をかける必要がなく井戸内に充填する程度でよい。

傾斜井戸の設置後、浄化工事の計画にしたがい、所定の数量を注入した。2年程度で浄化完了の予定となっている。



写真-13 薬剤注入状況

7．まとめ

本工法について実施工を実施し、次のような点を実証し確認した。

建物直下の水平・傾斜井戸の施工において、削孔と井戸管設置を同時に行えることを確認した。本工法により設置した傾斜井戸は揚水井戸として十分な能力を持つ。

床の鉄筋コンクリートや地中電線配管等により、電磁波を利用した地上での位置計測は困難とされている工場内建物直下において、挿入式位置測位システムにより、削孔位置の計測が可能である。

なお、今回は実施工が初めてのため極力曲がりの少ない形状としたが、スペック的にR=30m程度、掘進距離もL=50mは可能であり最小半径と掘進最大可能な距離について今後確認していきたい。また、薬剤注入後のモニタリングを行い、水平・傾斜井戸の効果確認のデータ収集も併せて進めていきたい。