

# 自在削孔技術による土壌・地下水汚染対策工法 「レメディエーションモール」の開発

伊藤 浩\* 遠藤 修\* 濱地 宏章\*

**要 約：** 建物直下の土壌地下水汚染の対策工法として、自在削孔技術を改良し汚染地盤中に水平・傾斜井戸を設置して揚水処理や薬剤注入など浄化対策を行う工法—レメディエーションモール（REMEDICATION-MOLE 修復・浄化もぐら）工法—を開発した。本工法は、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。本工法を用いた実サイトにおける施工を行った結果、掘進と井戸管の設置が同時にできること、設置した井戸が揚水井戸として十分な機能を持つこと、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の位置測位システムにより削孔位置の計測が可能であることを確認した。

**キーワード：** 土壌汚染、地下水汚染、自在削孔、傾斜井戸、揚水処理、位置計測

<b>目 次：</b>	1. はじめに	4. 実施工結果
	2. 工法概要	5. 傾斜井戸の揚水状況
	3. 実サイトでの井戸管施工	6. まとめ

## 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具合は異なるが、物質に寄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汚染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採らざるをえないが、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応用して、建物の外から片押しで汚染箇所まで正確な削孔を行い、対策井戸を設置して、もしくは直接地盤中に薬剤注入を行って浄化対策を行える「レメディエーションモール（REMEDICATION-MOLE 修復・浄化もぐら）工法」を開発した。

本報では、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

### 2.1 工法概要

本工法の概念図を図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正確な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。この方法を井戸管設置タイプと称している。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（直接注入タイプ）も可能である。

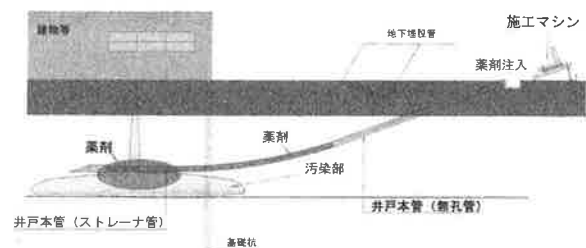


図1 工法概念図

いずれの方法でも、建物外から対策を実施できるため、建物内の作業等の支障にならず、建物床なども傷めず施工が可能である。

\*土木エンジニアリング部 自然環境グループ

自在削孔において掘進方向を変える原理を図2に示した。本工法では、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。

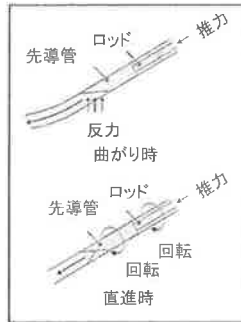


図2 掘進の原理

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もできる。

## 2.2 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な井戸設置技術を比較した。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工程で済むことが特徴である。

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	・立坑設置大規模 ・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 ・井戸設置に最低4工程が必要 ・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 ・井戸設置に最低2工程

## 2.3 構造的特徴と推進マシン

最低2工程で井戸設置を可能とするため、施工実験を実施し、その結果から次のような方法を採用した。

### (1) 井戸構造と掘削装置

井戸構造は、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本管を接続させる。

### (2) ストレーナ部の構造

自在削孔により井戸を設置する際に、ストレーナ部から井戸本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した。

### (3) 位置測位システム

掘進時の位置確認について、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、先端部で発信した位置信号を直上の地上部で受信する位置計測方法が不可能となる。そこで、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。

### (4) 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、また各マシンを仕様概要を表2に示す。

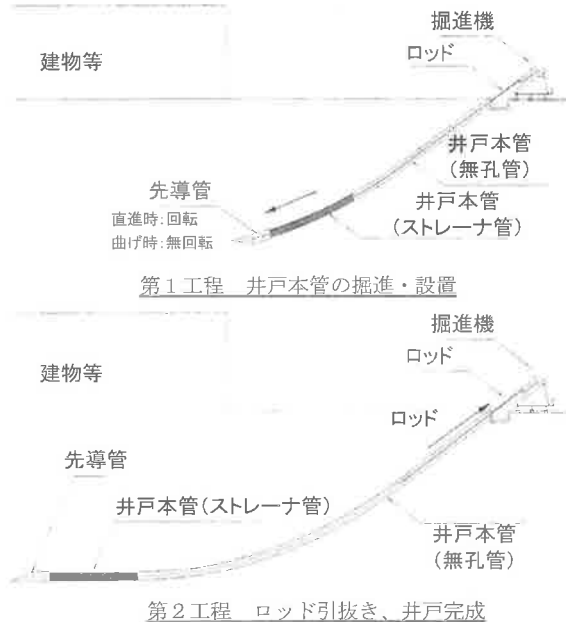


図3 施工手順



写真1 小型マシン

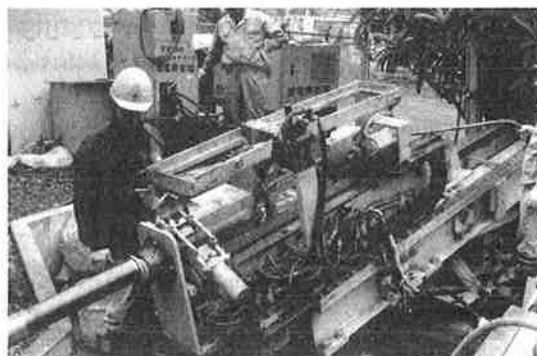


写真2 大型マシン

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	4t 車 2 台
		2t 車 1 台	2t 車 1 台

3. 実サイトでの井戸管施工

開発した工法の施工能力確認のため、実サイトでの施工を行った。

3.1 サイト状況

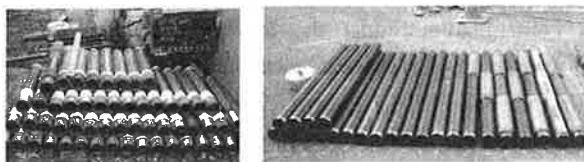
実サイトは操業中の工場で、過去に使用した有機塩素系化合物により、土壌と地下水の汚染が引き起こされた。汚染範囲は工場内の稼働中の機械下にも分布しており、揚水処理および薬剤注入による浄化を効率的に行うために、建物の外側から傾斜井戸を構築した。施工は2回に分けて実施し1回目の施工では小型マシンで1本の揚水・注入兼用井戸を設置し、2回目は大型マシンで3本の注入用井戸を設置した。

3.2 井戸仕様

本工法によって設置した井戸の仕様を表3に示す。井戸管は内径φ95mmの鋼管で、小型マシン用は単位管長610mmでネジ接続、大型マシン用は単位管長1500mmで現場自動溶接とした。井戸本管を写真3に示す。井戸延長は30mと35m、到達深度は、GL-6mと-11m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4.3m分、注入用井戸では有孔部(50cm)と無孔部(50cm)を50cm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)		



小型マシン用 大型マシン用

写真3 井戸本管

3.4 施工手順

本工法は先行削孔を必要としないが、今回の施工では15~20m先にある工場基礎杭の脇を300~600mm離れて

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本管の削孔を行った。施工手順を以下に示す。

- ①先導管削孔 (測位センサにより削孔位置確認)
- ②先導管の引抜き
- ③井戸本管削孔 (測位センサにより削孔位置確認)
- ④計画位置到達後、測位センサにより管位置確認
- ⑤ロッド引抜き・回収
- ⑥井戸本管内洗浄、ボアホールカメラによる本管内部状況の確認

4. 実施工結果

4.1 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起きていないか確認するため、井戸管内の洗浄後に、試験用ポンプで揚水しながら管内の様子をボアホールカメラにて確認した。小型マシン施工後の管内状況を写真4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部の布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。

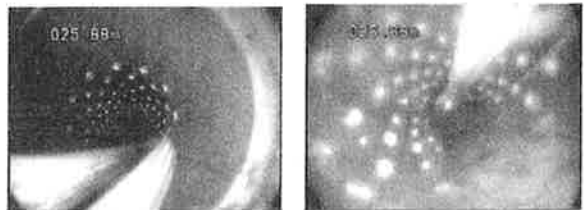


写真4 管内確認

4.2 管敷設位置

同じ深度(GL-11m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4に示す。

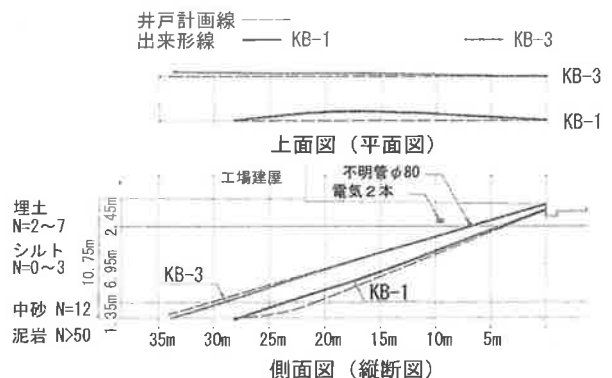


図4 位置計測結果

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=85m) 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ものと考えられる。

## 5. 傾斜井戸の揚水状況

小型マシンにより設置した揚水用の傾斜井戸(KB-1)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。この傾斜井戸の稼働後の揚水状況を図5に示す。

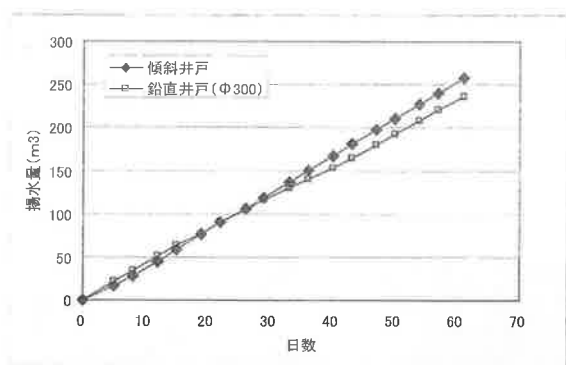


図5 傾斜井戸の揚水量 (累計)

## 謝 辞

本開発は根本企画工業株式会社との共同開発として実施しました。また首都圏本部土木事業部には多大なご協力をいただきました。末筆ながら関係各位に厚く御礼申し上げます。

## DEVELOPMENT OF REMEDIATED METHOD "REMEDICATION-MOLE" OF SOIL AND UNDERGROUND WATER CONTAMINATION USED BY THE FLEXIBLE BORING TECHNOLOGY

H.Ito, O.Endo and H.Hamachi

As remediated method of soil and underground water contamination under the buildings, we developed "REMEDICATION-MOLE" that installed a horizontal or slant well for pumping processing or medicine injection used by flexible boring technology. This new method enable to the setting the well or the injection of the medicine without working on the building because it is boring on one-sidedly from the building outside for the contamination point right under the building.

As a result of testing in the true contamination site with this method, the following were confirmed. The first, that boring and the setting of the well pipe are possible in this method at the same time. Secondly, the installed well have enough functions as pumping well. Thirdly, the measurement of the boring position is possible by the insert type measurement system in the factory where the measurement on the ground is considered to be difficulty.

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。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。

なお、傾斜井戸施工前から地盤沈下測定を継続して実施しており傾斜井戸の施工および揚水による沈下のないことを確認している。

## 6. 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。

- ①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。
- ②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。
- ③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程度の施工は可能である。また、掘進可能距離も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。