

ハイドロフラクチャー法を応用した VOCs 汚染土壌の原位置浄化方法

(株)アイ・エス・ソリューション 正会員 中間 哲志 大澤 武彦
山内 仁 安原 雅子
西村 実

1. はじめに

本報告では、原位置地盤に透水性の高い円盤状の薄い砂層（プロパゲーション®）を形成し、これに化学酸化剤やバイオレメデーション促進剤を注入することにより、原位置で浄化を行う工法（プロパゲーション®工法）を紹介する。この工法は、水圧破碎（ハイドロフラクチャー）法を応用した工法である。この工法のサイトへの適用にあたり、プロパゲーション®形成確認のためのフィールド実験や化学酸化剤を用いた室内実験を行ったので、その結果について報告する。なお、この方法は米国EPAのサイトプログラムでも紹介されている工法¹⁾で、EBSI社が商業化している。当社は同社との提携により、この工法の日本国内での独占使用権を獲得している。

従来のハイドロフラクチャー法は、岩盤を対象として油井や熱水の生産量、還元量を増加させることを目的として用いられており、坑井内に地層・岩層が保有する応力に打ち勝つような高压の流体（フラクチャリング流体）を圧入し、地下に亀裂（フラクチャー）を生じさせ、その亀裂を拡張・伸展させると同時に開口した割れ目が閉じないようにして透水性を増加させる技術として用いられてきた。フラクチャリング流体には、一度開いた亀裂が再び閉じないように、プロパント（支持材）と呼ばれる粒状の間詰め用の物質が混合される。プロパゲーション®工法は、こうした岩盤におけるハイドロフラクチャー技術を土質地盤に応用したものである。

2. プロパゲーション工法の概要

2.1 施工手順

プロパゲーション工法の施工手順を図-1に示す。

本工法では、プロパゲーション層を形成する際にフラクチャーの間詰め材（支持材）として粒径1.0～1.5mmの濾過用の砂を、この砂を圧送するためのキャリアー媒体としてCMC（土木材料として一般的に用いられている材料）の1.5%溶液を、またプロパゲーション層形成後は早急にCMCを分解し、この粘性を低下させた上で浄化促進剤をプロパゲーション層に注入する必要があることから、酵素（セルラーゼ：セルロースを分解する触媒）を混合したフラクチャースラリー（砂+CMC+水+酵素）を用いる。

2.2 プロパゲーション®工法の特徴

プロパゲーション工法を用いた浄化イメージを図-2に示す。この工法の特徴は、1) 建物直下の汚染に適用可能、2) 店舗の営業、工場の操業を続けながら浄化工事が可能、

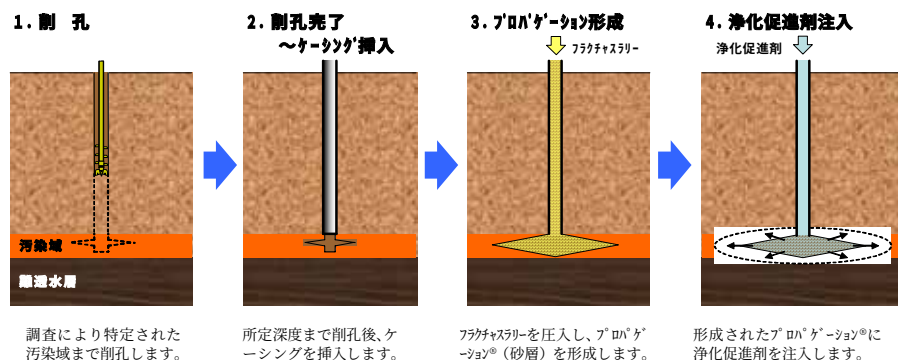


図-1 実験手順

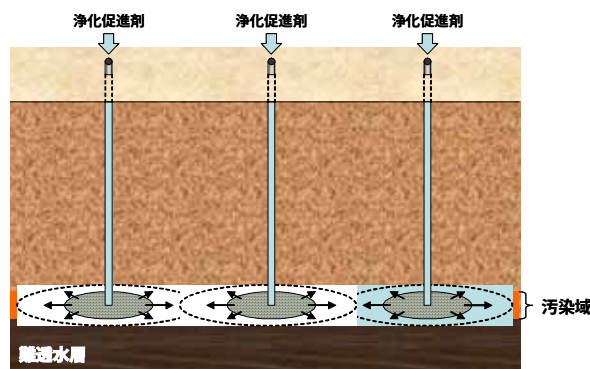


図-2 プロパゲーション®工法の浄化イメージ

キーワード：ハイドロフラクチャー、汚染土壌、浄化、化学酸化、フェントン、バイオレメデーション

〒135-8073 東京都江東区青海 2-45 タイム 24 ビル 4 階 TEL:03-5531-0080 FAX: 03-5531-0081

3)少ない井戸本数で広い範囲の浄化が可能、4)ホットスポット（汚染源）の浄化に最適、5)透水性の低い地層の浄化が可能、6)従来工法より低コスト・短期間の原位置浄化が可能である、7)様々な既存技術（化学酸化、バイオ法、鉄粉還元、土壌ガス吸引）との組合せが可能、である。

この技術の導入先である米国EBSI社では、本工法を用いた化学酸化法により、VOCs、油類（TPH、BTEX、PAHなど）、PCB等の土壤汚染物質を浄化した実績がある。筆者らは、①化学酸化剤として残留毒性のないフェントン反応剤（ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$ ）を、②バイオレメデーション促進剤として普及しているORC、HRCを用いることにしている。フェントン反応剤については、米国でも土壌浄化の分野で広く使われており、その実績について数多くの論文発表や報告がなされている。

3. フィールド実験とフェントン氏試薬を用いたTCE分解試験

3.1 フィールド実験

フィールド実験は、プロパゲーション工法の施工手順の確認と原位置に形成されるプロパゲーション層の出来形確認を目的として実施した。

フィールド実験を行った場所の原位置地盤の物理的、力学的性質を表-1に示す。フィールド実験では、5箇所につきプロパゲーション層をGL-2.5m～GL-3.3mの間に形成を試みた。

実験の結果を表-2に示す。実験の結果、

- ①ハイドロフラクチャーによって原位置に砂層が形成されることが確認できた。その寸法は、半径 $R=4.0\text{m}$ 以上、厚さ $t=0.5\text{cm}$ ～ 2.0cm 程度であった（表-2、写真-1）。
- ②プロパゲーションは、地層の境界（土質の変化するところ）に形成される傾向がある。
- ③浅い箇所（GL-2.5m）では、プロパゲーションは形成できない。ということが分かった。

3.2 フェントン氏試薬を用いたTCE分解試験

この試験では、所定濃度のTCEをミネラルウォーターに溶解してTCE模擬汚染水を作成し、バイアル瓶に分注して、これらにフェントン氏試薬（過酸化水素水と硫酸第一鉄七水和物）を所定量添加し、液相中のTCE濃度を測定して、TCEの分解を確認した。なお、フェントン氏試薬の過酸化水素と Fe^{2+} のモル比は、 $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{Fe}^{2+} = 5:1$ とした²⁾。

図-3に H_2O_2 の消費量～TCE濃度の時間減衰の関係を示す。この図から、①過酸化水素（フェントン氏試薬）の濃度が高い（ H_2O_2 ：1%）ほうがTCEの分解率も高い、②フェントン氏試薬によるTCE分解反応は6時間で初期濃度の80%程度が、24時間でほぼ完了している、といえる。

5. おわりに

筆者らは、フィールド試験や室内試験等の結果から、プロパゲーション®工法が浄化方法として有効な工法であると結論づけた。そして現在この工法を複数のサイトに適用している。今後は、実サイトで多くの場数を踏み、浄化のデータと実績を蓄積してゆきたい。

表-1 原位置土の物理的、力学的性質

項目	上部層 粘土質砂 GL-1.8～2.7m	下部層 粘土混砂 GL-2.7～5.0m
自然含水比 (%)	34.1	18.2
土粒子密度 (g/cm^3)	2.672	2.736
液性限界 (%)	102.0	45.8
塑性限界 (%)	24.7	23.4
塑性指数	77.3	22.4
粒度 (%)	礫 (2mm～75mm)	0.0
	砂 (75 μm ～2mm)	68.0
	シルト (5～74 μm)	15.0
	粘土 (5 μm 未満)	17.0
せん断強さ ^{注)} τ_v (MPa)	0.1	0.1

表-2 プロパゲーション層の出来形

実験No.	設置深さ (m)	層の厚さ (cm)	半径 (m)
1	3	(地表面に噴出して形成できず)	
2	3.2～3.3	0.5～2.0	2.0
3	3.2～3.3	0.5	2.0
4	3.2～3.4	0.3～1.0	>4.0



写真-1 形成されたプロパゲーション層

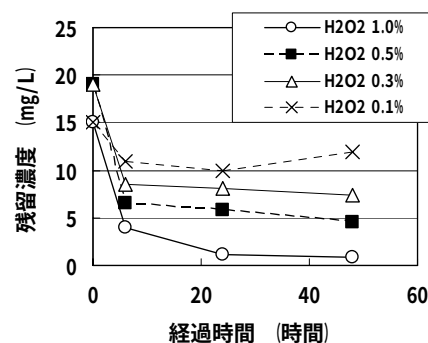


図-3 フェントン氏試薬添加後のTCE残留濃度（TCE濃度：20mg/L）

[参考文献] 1)U.S. Environmental Protection Agency：Hydraulic Fracturing Technology, SITE, No.EPA/540/SR-93/505, 1993
2)Tang W. Z., Environmental Technology, 18(1), pp13-pp23, 1997