

浄化材を間欠注入するバイオバリアによる VOCs 汚染地下水の拡散防止技術の検証

大成建設（株）技術センター 正会員 ○渡邊 竜麻
 大成建設（株）技術センター 正会員 伊藤 雅子
 大成建設（株）技術センター 正会員 高畑 陽

1. はじめに

筆者らは、地下水の流下方向に対して鉛直方向に注入管を列状に配置し、注入管から連続的もしくは間欠的に必要最低限の浄化材を帯水層に供給して、脱塩素化細菌を利用して塩素化エチレン類（以下、VOCs）汚染地下水の敷地外への汚染拡散を防止する技術（バイオバリア¹⁾）の開発を進めている。本技術では、バリアゾーン（浄化材が供給され、脱塩素細菌が増殖して VOCs の浄化が生じるエリア）において、サイト諸条件に合致した脱塩素反応速度が維持されるように、適切な浄化材を供給する仕様を決定する必要がある。

本報では、列状に並べた注入管から浄化材の間欠注入により形成させたバリアゾーンによる VOCs 汚染地下水の拡散防止効果について報告する。また、本実証試験におけるバイオバリアの実施方法と、昨年度に報告²⁾した注入管から *Dehalococcoides mccartyi* UCH007 株³⁾（以下、UCH007 株）の菌液供給後に浄化材を連続的に供給するバイオバリアの両者を比較した結果についても考察を行った。

2. 試験方法

2.1 実証試験サイト概要

本実証試験は、図 1 に示すトリクロロエチレン（TCE）、1,2-ジクロロエチレン（1,2-DCE）、クロロエチレン（VC）で汚染された帯水層（砂層）を対象として実施した。注入管として、オールスクリーンの井戸管（VP50）を使用した。注入管は、地下水流向に対してほぼ鉛直方向に 0.5m 間隔で 3 本設置し、注入管内に生分解性樹脂ペレット（平均粒径：4mm）を充填したドレーン管を内挿することで注入した浄化材が管内で滞留することを防止した。また、中央の注入管から 0.6m 下流部に VP50 の観測井戸（観測井戸①）を 1 本、平行方向に並んだ 3 つの注入管から 0.17m 下流部に VP25 の観測井戸（観測井戸②、観測井戸③）を 2 本設置した。

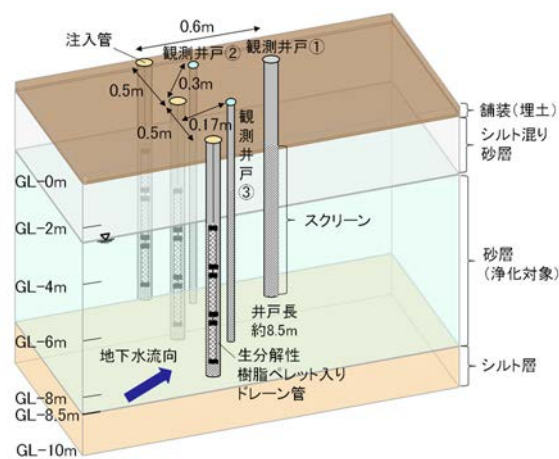


図 1 実証試験サイト概略図

2.2 液系浄化材の間欠注入方法

嫌気環境を形成させるための液系浄化材として、ビール酵母を主成分とした TM-BioQuick⁴⁾を使用した。浄化材供給開始 0 日目から 71 日目までは各注入管から 33 倍希釈浄化材（有機物濃度で約 6g-C/L）2.3L を 1 日 1 回、手作業で供給した。また、72 日目以降は 10 倍希釈浄化材（有機物濃度で約 20g-C/L）に変更して同様の方法で浄化材の供給を継続した。

2.3 地下水試料の採取と測定方法

各観測井戸の GL-6.0 m から採水器を用いて地下水試料を定期的に採取した。VOCs 濃度は、ページ&トラップ質量分析計（GCMS-QP2010 Ultra：島津製作所）を用いて測定した。また、地下水試料中の *Dehalococcoides* 属細菌の 16S rRNA の遺伝子数（以下、*Dehalococcoides* 属細菌数）をリアルタイム PCR 装置（QuantStudio 6 Flex：ライフテクノロジーズ）を用いる定量 PCR 法により測定した³⁾。

キーワード 塩素化エチレン類、バイオバリア、*Dehalococcoides* 属細菌、浄化材
 連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター
 TEL045-814-7224

3. 実証試験サイトにおける VOCs 濃度と浄化菌数の推移

各観測井戸における TCE, 1,2-DCE, VC のモル濃度と *Dehalococcoides* 属細菌数の採水実施日ごとの推移を図2に示す。

0～71日目(有機物濃度で約6g-C/L)は、列状に並んだ注入井戸から下流部に位置している全ての観測井戸で *Dehalococcoides* 属細菌数はほとんど変化しなかった。また、VOCs 濃度も明確な脱塩素化を伴う減少はみられなかった。したがって、0～71日目の浄化材供給量は、*Dehalococcoides* 属細菌が多く存在するバリアゾーンを形成させるためには不十分であると考えられた。

そこで、71日目以降に浄化材の供給量を増加(有機物濃度で約20g-C/L)した結果、142日目以降には全ての観測井戸で *Dehalococcoides* 属細菌数の増加傾向が確認され、216日目以降には VOCs 濃度は減少傾向に転じた。331日目には、VC 濃度の上昇が観測され、*Dehalococcoides* 属細菌による 1,2-DCE 以降の脱塩素化傾向を確認できた。したがって、中央の注入管から0.6m下流部までのエリアで *Dehalococcoides* 属細菌が増加するバリアゾーンが形成され、71日目以降の浄化材供給量が本サイトでは適切であることが示された。

4. サイト条件に応じたバイオバリア構築方法に関する考察

本報の実証試験サイトの VOCs 濃度は低濃度であり、列状配置した井戸から浄化材を1日1回投入するだけでバリアゾーンの形成による VOCs 汚染地下水の浄化傾向を確認できたが、*Dehalococcoides* 属細菌の増加には時間を要した(図2)。

一方で、既報²⁾のように VOCs 濃度が比較的高濃度の汚染サイトに対して、バリアゾーンを早期に形成させるために、浄化材初期注入と浄化菌(UCH007株)を供給し、その後は少量の浄化材(本試験における浄化材供給開始0日目から71日目までと同等の浄化材供給量)を供給することで、バリアゾーン内の *Dehalococcoides* 属細菌が高濃度で維持され VOCs を効率的に浄化できた。

以上の結果から、浄化材を連続的に供給する、もしくは1日に1回程度の間隔で間欠的に供給しても、バリアゾーンを形成することは可能と考えられたが、*Dehalococcoides* 属細菌が高濃度で存在するバリアゾーンを早期に形成させるためには、低濃度の VOCs 汚染サイトでは *Dehalococcoides* 属細菌の増殖が遅いため、特に浄化菌の導入(バイオオーグメンテーション)が有効になると考えられた。

4. おわりに

バイオバリア技術において、浄化材を間欠的に供給することによる下流部への VOCs 汚染拡散防止効果を確認し、長期的には VOCs の拡散防止効果が得られることを確認した。今後、本実証試験サイトでは浄化菌の導入を含めた拡散防止効果の確認を継続する予定であり、対象汚染サイトの諸条件に応じたバイオバリアの設計方法(注入管の設置間隔、浄化材の最適供給方法)について検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 根岸昌範ほか：大成建設技術センター報 第54号, No.44, 2021.
- 2) 渡邊竜麻ほか：地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第27回講演集, pp.213~216, 2022.
- 3) 伊藤雅子ほか：土木学会論文集 G, Vol.78, No.1, pp.1-12, 2022.
- 4) 高畑陽ほか：環境浄化技術, Vol.18, No.5, pp.38-41, 2019.
- 5) 高畑陽ほか：地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第26回講演集, pp.216-219, 2021.

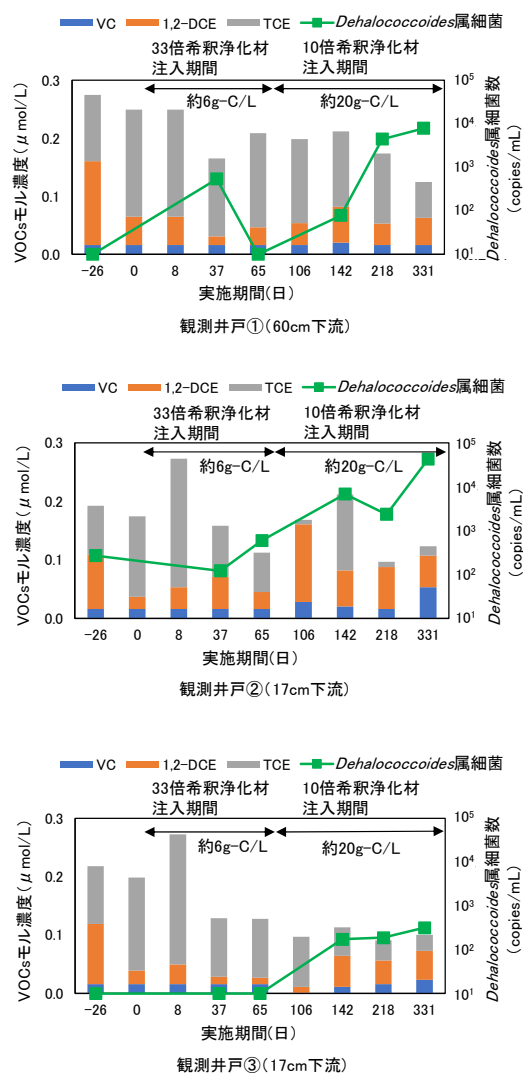


図2 各観測井戸における VOCs モル濃度と *Dehalococcoides* 属細菌数の推移