

液系浄化材と浄化菌を用いる塩素化エチレン類汚染地下水の拡散防止技術の実証（その1）

大成建設（株）技術センター 正会員 ○高畑 陽
 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

1. はじめに

汚染地下水の拡散防止対策として、地下水を地上に汲み上げて水処理後に下水道等へ放流する技術（バリア揚水）が多用されてきた。しかしながら、本技術は揚水した汚染地下水を継続して処理する必要があり、長期的な維持管理コストが膨大になる課題があった。

筆者らは狭隘な場所でもバリア揚水と同様に施工可能な汚染地下水の拡散防止技術として、徐放性の浄化材を埋設する方法¹⁾に加えて、浄化菌と液系浄化材を地盤に供給するバイオバリア法の開発に着手した。

本報（その1）では、液系の材料を汚染帯水層に注入するために新たに開発した注入管²⁾を用いて浄化材や *Dehalococcoides* 属細菌数 UCH007 株³⁾（以下、UCH007 株）の菌液を地盤に供給することによる帯水層の酸化還元状態の変化と浄化菌の挙動について報告する。

2. 試験方法

2.1 実証試験サイトの概要

本実証試験は図-2 に示す第一帯水層（粘土混じり砂礫層）の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）の地下水濃度が基準値を超過している事業所内で実施した。

2.2 注入管および観測井戸の設置

塩素化エチレン類による地下水汚染が確認されている範囲に地下水流向に対して鉛直方向に3本の注入管を設置した（図-3）。また、注入管②から地下水流向の下流方向に0.4mピッチで観測井戸を設置した（図-3）。注入管と観測井戸①は、小型のバイプロドリルマシン（株式会社ワイビーエム ECO-11V）を用いて既報²⁾に示す手順で設置した。図-2の①は鋼管と塩ビ管の二重管を所定の深度まで打設した状況を示している。塩ビ管の外側の鋼管を引き抜いた後で地上部に保護ピットを取り付け、塩ビ管の周りの隙間を2号珪砂とベントナイトペレットで養生し、保護ピットの下部面をモルタルで充填した（図-2の②）。

2.3 実証試験のフロー

注入管と観測井戸を設置後、図-4 に示すフローで試験を実施した。菌液の注入は浄化材の初期注入から3週間後に実施した。本報では、浄化開始前、菌液注入の直前、菌液注入から3週間後に採取した地下水の測定結果について詳述する。地下水中の溶存性有機炭素（DOC）、硝酸性窒素（NO₃-N）、定量PCR法による全菌数、*Dehalococcoides* 属細菌数（DHC細菌数）、UCH007株の遺伝子コピー数についてそれぞれ測定した。測定方法は既報³⁾に示した。

キーワード 塩素化エチレン類、拡散防止技術、*Dehalococcoides* 属細菌、バイオオーグメンテーション

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7224

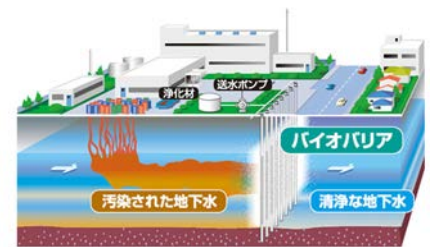
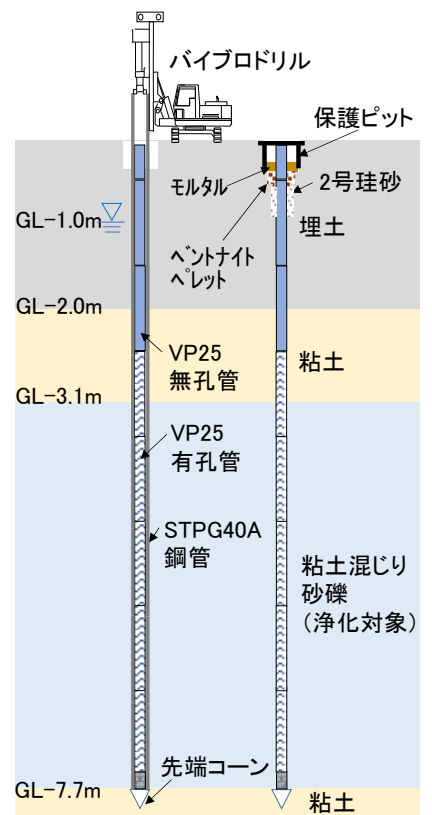


図-1 バイオバリアの模式図



①二重管打設後 ②注入管設置完了

図-2 注入管・観測井戸の設置方法

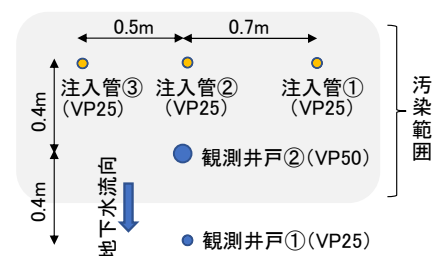


図-3 注入管・観測井戸の平面配置

2.3 浄化材の帯水層への初期注入

塩素化エチレン類を完全に脱塩素化できる UCH007 株の菌液を帯水層に供給して浄化菌が多く存在する嫌氣的な領域（バリアゾーン）を迅速に形成するための準備として、浄化材の初期注入を実施した。注入管 1 本あたり 13kg の TM-BioQuick⁴⁾（即効性浄化材）と 0.33kg の TM-BioLong⁴⁾（徐放性浄化材）を 234L の水で希釈して供給した。

2.4 菌液の培養と帯水層への注入

浄化材供給から 21 日後に UCH007 株を含む菌液を注入した。UCH007 株は耐圧培養容器（ビア樽⁵⁾）を用いて UCH007 株の増殖を促進させる UCH001 株³⁾ と共に室温（約 25℃）で培養した。培養期間中の塩素化エチレン類の濃度と UCH007 株および UCH001 株の菌数の推移を図-5 に示す。培養初期と 21 日後に TCE を添加して培養した結果、UCH007 株は約 10^8 cells/mL まで増加し、培養終了時の塩素化エチレン類はほぼ全量が VC となった。培養液中に残存する塩素化エチレン類は窒素ページにより除去して、窒素ガス⁵⁾を用いて注入管 1 本あたり 45L の菌液（ビア樽 3 本分）を帯水層中に供給した。

3. 試験結果

3.1 浄化材の供給による嫌気環境の形成

各注入管における 0 日目、20 日目、49 日目の DOC と NO₃-N の平均値を図-6 に示す。初期注入で供給した浄化材中の有機物濃度は約 10,000mg-C/L であったが、20 日後には DOC がほぼ試験開始前の濃度まで低下した。一方、NO₃-N 濃度は低下し、観測井戸②における酸化還元電位も浄化初期の 101mV から -91mV と大きく低下した。そのため、帯水層中の有機物が短期間で微生物により消費されて嫌気環境となり、菌液を帯水層に注入できる状態になっていると判断した。

3.2 菌液の供給後の浄化菌の挙動

各注入管における 0 日目、20 日目、49 日目の全菌数、DHC 細菌数、UCH007 株の遺伝子コピー数の平均値を図-7 に示す。全菌数は 49 日目までに上昇し、浄化開始前より約 3 オーダー増加した。菌液の注入前に DHC 細菌が検出されたが菌数は少なかった。菌液注入後の 49 日後に DHC 細菌数、UCH007 株菌数は双方で約 10^5 copies/mL と菌液注入前より 2 オーダー以上多く検出されたことから、49 日目に検出された *Dehalococcoides* 属細菌は UCH007 株であり、菌液注入から 3 週間後も地盤中に存在していることを確認した。

4. おわりに

帯水層が適度な嫌気環境となったタイミングで *Dehalococcoides* 属細菌数を含む菌液を供給することで、浄化菌が一定数存在するバリアゾーンを形成できることが示された。続報（その 2）にて、50 日目以降に浄化材を連続供給した場合の汚染地下水の拡散防止効果とバリアゾーンにおける浄化菌の定着状況について述べる。

参考文献

- 1) 高畑陽ほか：令和 3 年度第 76 回土木学会年次学術講演会，VII-44，2021.
- 2) 高畑陽：建設機械施工，Vol.73，No.11，pp.101-106，2021.
- 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：令和 2 年度第 75 回土木学会年次学術講演会，VII-77，2020.

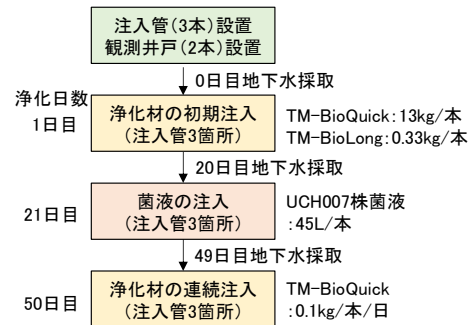


図-4 実証試験の全体フロー

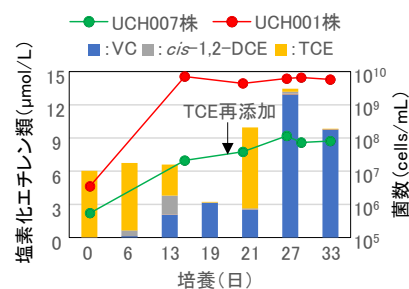


図-5 菌液の培養状況

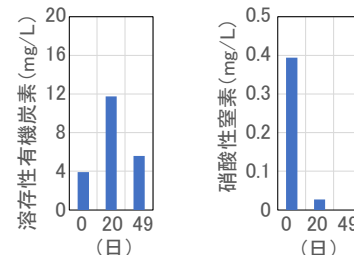


図-6 注入管における DOC, NO₃-N の推移

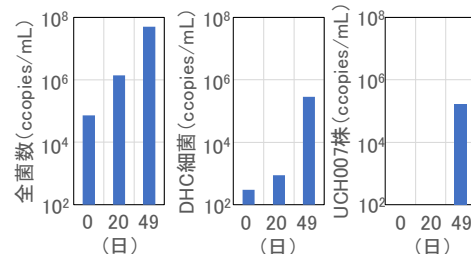


図-7 注入管における各菌数の推移