

塩素化エチレン汚染地下水浄化に用いる有機資材の挙動と脱塩素化効果

大成建設(株) 正会員 ○伊藤 雅子
大成建設(株) 正会員 高畑 陽

1. はじめに

テトラクロロエチレン (PCE) やトリクロロエチレン (TCE) などの塩素化エチレン類 (VOCs) による地下水汚染対策として、帯水層に有機資材を供給して嫌気環境を形成し、*Dehalococcoides* 属細菌などの有用微生物を活性化して塩素化エチレン類を無害なエチレンまで脱塩素化処理するバイオレメディエーションが実用化されている。当社では、浄化期間を短縮できる即効性の高い有機資材として、酵母を原料として加工した浄化剤 (TM-B 剤) の浄化効果について報告している¹⁾。本報では、同一の敷地内の異なる 2 地点において有機資材を注入し、注入後の有機資材の挙動と脱塩素化効果について調べた結果を報告する。

2. 試験汚染サイトの概要

本実証試験を行った 2 つの試験区の平面井戸配置図を図-1 に示す。各井戸は第一帯水層下部 (約 GL-10m) までのオールスクリーン井戸を用いた。井戸設置にあたりボーリング調査した各試験区の土壌性状を図-2 に示す。各試験区の第一帯水層は砂層または砂礫層が主体であり、透水性の高い土壌であった。注入前に採取した各井戸の地下水性状を表-1 に示す。試験区 1 では TCE, 塩ビモノマー (VCM) が環境基準値の数倍、試験区 2 では PCE, TCE が環境基準値の数倍~数十倍で検出されたが、VCM は非検出であった。

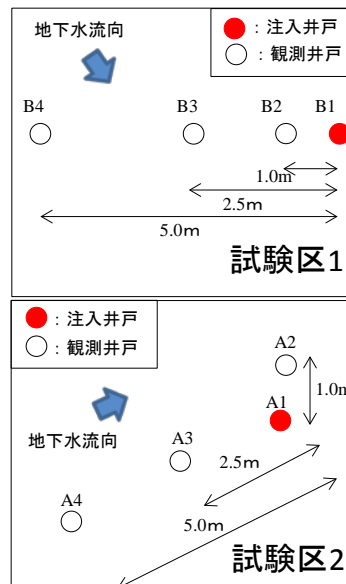


図-1 各試験区の井戸配置図

3. 試験方法

汚染サイトに注入する有機資材は TM-B 剤, pH 調整剤, トレーサー (NaBr) を工業用水で希釈し, 全有機炭素濃度 (TOC) が 500mg/L, トレーサー濃度 (Br) が 10mg/L となるように調整した。高圧ポンプを用いて注入井戸から約 2.7 kL/h の速度で注入し, 試験区 1 の A1 井戸には 35 時間 (総注入量: 約 95 kL), 試験区 2 の B1 井戸には 40 時間 (総注入量: 約 110 kL) を注入した。注入後は, 定期的に各井戸から地下水を採取し, VOCs 濃度および水質分析を実施した。

4. 試験結果

各井戸の Br 濃度の推移を図-3 に示す。各井戸の Br 濃度から, 試験区 1, 2 共に有機資材は注入井戸から 2.5m の範囲 (A3, B3) まで到達していることが示された。注入後の Br 濃度は,

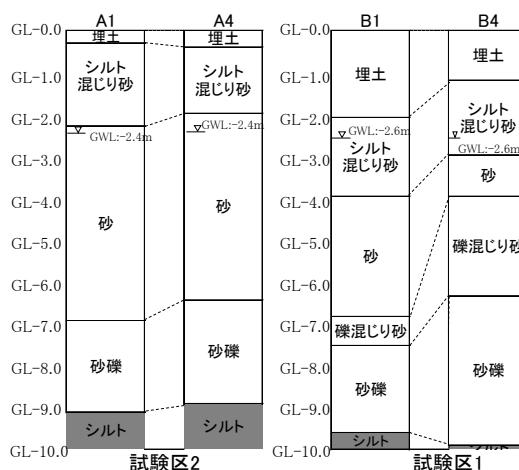


図-2 試験区の土壌柱状図

試験区 2 で急激に低下する傾向が示された。注入井戸から 1m 離れた A2, B2 の Br 濃度の減少速度を半減期で比較すると, A2 が 77 日, B2 が 13 日となり, 試験区における地下水移動に顕著な差があることが示された。地下水移動に差が見られた一方で, 有機資材の濃度指標となる DOC 濃度は試験区 1 も試験区 2 と同様の減少傾向が示された (図-4)。VOCs の脱塩素化は, A2 が比較的早い段階でシス-1,2-ジクロロエチレン (cis-1,2-DCE) 以降の脱塩素化が進行しており, 注入した有機資材が効率的に脱塩素化に利用されたものと

表-1 試験前の地下水の水質性状

| 測定項目 | 単位 | 試験区1 | | | | 試験区2 | | | |
|---------------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | B1 | B2 | B3 | B4 |
| pH | — | 5.8 | 5.8 | 6.0 | 5.7 | 5.8 | 5.8 | 5.9 | 6.0 |
| 酸化還元電位(ORP) | mV | 64 | 85 | 20 | 111 | -63 | 169 | -134 | -156 |
| 溶存酸素濃度(DO) | mg/L | <0.1 | 0.1 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 全有機炭素濃度(TOC) | mg/L | 1.3 | 0.5 | 1.6 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 1.0 | 1.3 |
| 全無機炭素濃度(IC) | mg/L | 17.5 | 18.2 | 15.9 | 11.1 | 22.1 | 18.7 | 17.8 | 17.2 |
| 硫酸イオン濃度 | mg/L | 27.5 | 31.2 | 26.7 | 22.3 | 28.8 | 27.3 | 27.3 | 25.0 |
| 硝酸性窒素濃度 | mg/L | 11.0 | 9.0 | 6.9 | 10.7 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| 亜硝酸性窒素濃度 | mg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 |
| アンモニア性窒素濃度 | mg/L | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 全菌数 | cells/ml | 4.7E+06 | 2.6E+06 | 2.5E+06 | 1.8E+06 | 5.7E+05 | 5.5E+05 | 5.2E+05 | 4.3E+05 |
| <i>Dehalococcoides</i> 属細菌 16S rRNA | copies/ml | N.Q. | N.Q. | N.Q. | N.Q. | N.Q. | N.Q. | N.Q. | N.Q. |
| <i>vcrA</i> 遺伝子数 | copies/ml | N.Q. | 1.4E+02 | 1.2E+02 | N.Q. | N.Q. | N.Q. | N.Q. | N.Q. |
| テトラクロロエチレン(PCE) | mg/L | 0.017 | 0.024 | 0.018 | 0.016 | 0.147 | 0.156 | 0.359 | 0.464 |
| トリクロロエチレン(TCE) | mg/L | 0.081 | 0.136 | 0.079 | 0.072 | 0.128 | 0.147 | 0.237 | 0.306 |
| シス-1,2-ジクロロエチレン(<i>cis</i> -1,2-DCE) | mg/L | 0.023 | 0.022 | 0.025 | 0.012 | 0.027 | 0.049 | 0.068 | 0.081 |
| 塩化ビニルモノマー(VCM) | mg/L | 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.003 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |

N.Q.: Not detected (under lower quantification limit)

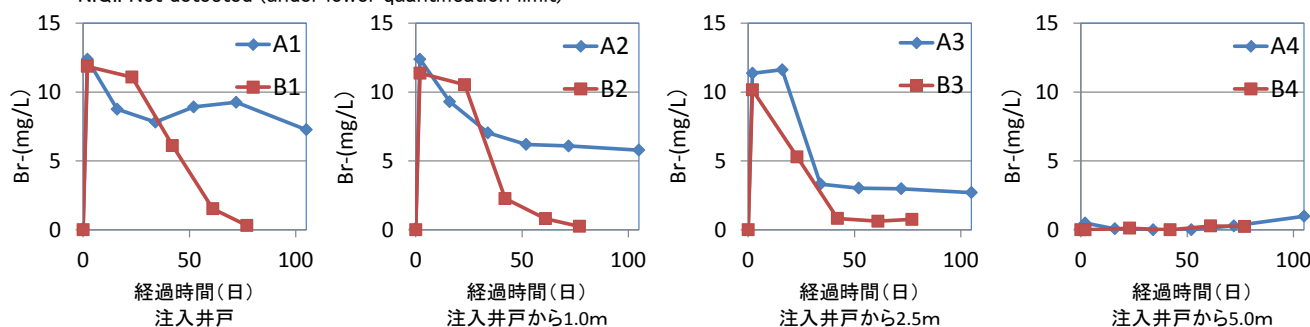


図-3 地下水トレーサー (Br-濃度) の推移

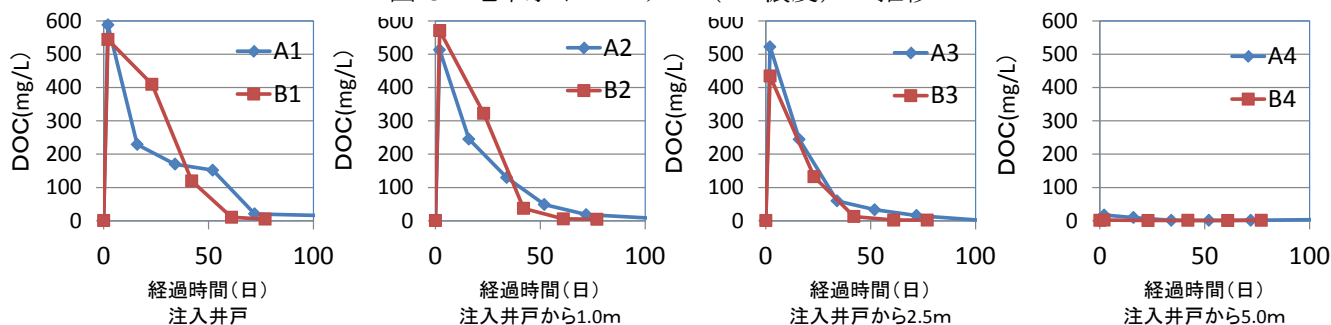


図-4 地下水の DOC 濃度 (有機資材) の推移

推測された(図-5). B2も61日目に *cis*-1,2-DCE の脱塩素化傾向が示されたが、その後は停滞し、PCEも再検出された。

4. おわりに

本試験では、VCMの脱塩素化が浄化開始から1~2ヶ月程度と比較的短時間で始まることが示された。一方、地下水の流動条件が異なっても有機物濃度は急速に低下し、DOC濃度が10mg/l以下になった試験区2ではVOCs濃度のリバウンドが確認された。したがって、地下水拡散後の有機資材が適切な濃度で保持される有機資材の成分配合が必要であることが示された。

参考文献

- 1) 伊藤ら, 第17回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp169-173 2011

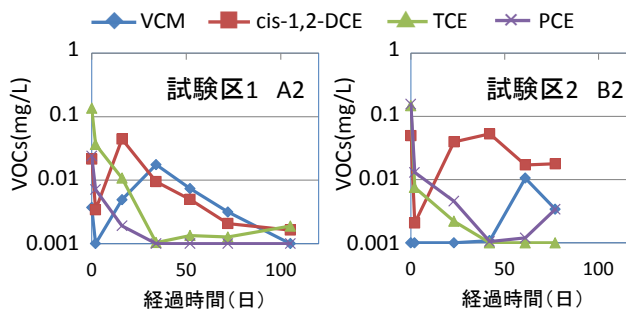


図-5 塩素化エチレン濃度の推移