

# 即効性有機資材を用いる塩素化エチレン汚染地下水の原位置浄化における安全性検討

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○高畑 陽 伊藤 雅子  
産業総合研究所 松倉 智子 野田 尚宏 関口 勇地

## 1. 目的

近年、地下水中の塩素化エチレン類を非掘削で浄化する技術として、帯水層に有機物を供給して嫌気性細菌による脱塩素化反応を促進させる方法が多用されており、比較的短期間で浄化を進める場合には即効性(水溶性)の有機資材が用いられている。一方、帯水層に高濃度の有機資材を含む水溶液を一度に導入すると、浄化後に有機物もしくは窒素(硝酸性窒素)の残存による地下水の二次的汚染が生じるだけでなく、帯水層中の微生物活性が急激に高まることにより、生態系への影響や有毒ガス(メタンガス、硫化水素)の発生などの影響が懸念されている。しかしながら、これまで有機資材使用後の帯水層の環境影響についての報告例は少ない。

本報では、即効性有機資材を用いる塩素化エチレン汚染地下水の浄化実証試験を行い、様々な環境影響評価を行った事例について報告する。

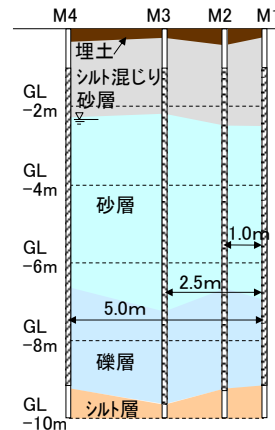


図-1 設置井戸断面図

## 2. 実証試験方法

実証試験は、テトラクロロエチレンやトリクロロエチレンの地下水濃度が環境基準値を5倍ほど超過している第一帯水層に、4本の井戸(M1~M4:オールスクリーン)を設置して実施した(図-1)。ビール酵母エキスTM-B<sup>1)</sup>を主成分とする当社独自の配合を施した即効性有機資材とトレーサー物質(臭化ナトリウム)を工業用水により希釈して、注入水中の有機物濃度が500mg/L、臭化物イオン濃度が10mg/Lになるように調製し、M1井戸から約2.7kL/hの注入速度で35時間連続して圧入した(総注入量:約93kL)。注入開始時点を0日目(注入完了時点を2日目)として、2日目以降は有機資材の再注入等を行わず、105日間にわたって地下水試料の採取を適宜実施した。

## 3. 実証試験結果

### 3.1 塩素化エチレンの経時変化

実証試験での注入井戸からの有機資材の理論到達範囲は土壌の間隙率を0.4とした場合に約3.3mであり、本試験ではM1(図-2)とM2井戸で塩素化エチレンの脱塩素化による明確な浄化傾向を確認した。一方、M4井戸では脱塩素化による浄化傾向がみられなかった(図-3)。

### 3.2 地下水の拡散および有機物の残存状況

臭化物イオン濃度の経時変化から、注入完了後に注入地点から2.5m離れたM3井戸まで注入水が到達した一方で、注入水が到達した範囲では注入井戸から離れている井戸は

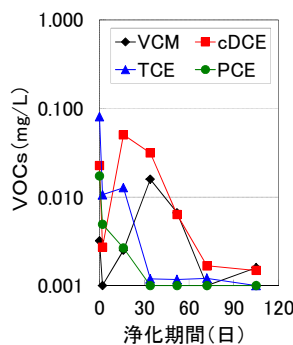


図-2 VOCsの推移(M1)

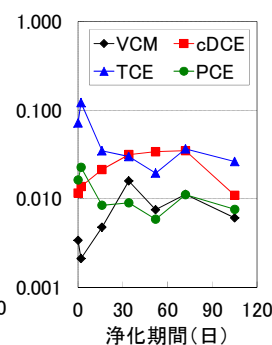


図-3 VOCsの推移(M4)

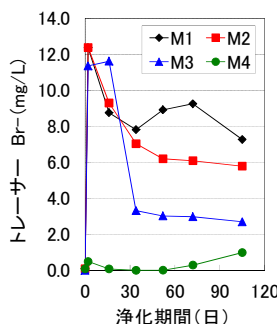


図-4 臭化物イオンの推移

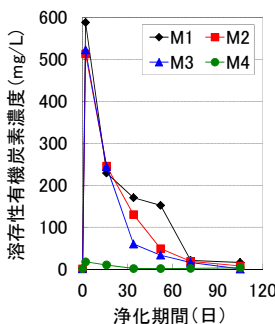


図-5 溶解性有機炭素の推移

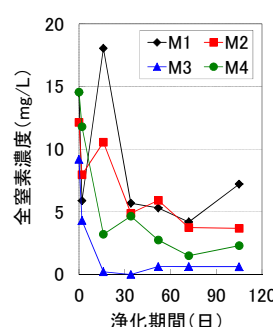


図-6 全窒素の推移

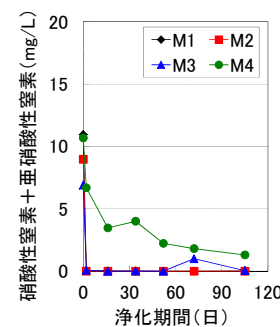


図-7 硝酸・亜硝酸性窒素の推移

キーワード 原位置浄化, 塩素化エチレン, 即効性有機資材, 安全性, 生態系影響評価

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 045-814-7217

ど、注入水と周囲の地下水や雨水との希釈混合が短時間で進んだと考えられた(図-4)。一方、地下水に供給した有機資材(溶解性有機物)は注入地点からの距離に関係なく速やかに微生物に利用され、試験終了時のDOCは各観測井戸で10mg/L以下に減少した(図-5)。

### 3.3 硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の残存状況

地下水中の全窒素は注入直後に増加傾向を示す場合があり、浄化剤の微生物分解に起因する窒素(アンモニア性窒素)の地下水への供給が示唆された(図-6)。一方、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素の合計値は注入直後に基準値(10mg/L)前後の値を示したが、有機資材が到達した井戸では急激に低下し、概ね検出限界以下で推移した(図-7)。

### 3.4 全菌数およびATP(アデノシン三リン酸)の推移

有機資材が到達した井戸では菌数が概ね1オーダー増加し、その後は漸減傾向を示した(図-8)。一方、微生物の増殖活性の指標となるATPは全菌数と同様に注入直後に増加したが、その後は急激に減少し、試験終了時は有機資材の注入前より低い値となった(図-9)。

### 3.5 16S rRNA 遺伝子による微生物種の変動解析

地下水中の微生物種の変動傾向を詳細に把握するため、パイロシーケンシング技術<sup>2)</sup>によって地下水試料に含まれる約1万の菌体の16S rRNAの塩基配列を決定し、門レベルでの変動傾向を定量的に示した結果を図-10に示す。この結果、有機資材が到達した井戸では*Proteobacteria*から*Firmicutes*や*Bacteroidetes*が優占種となった。脱塩素化に関与する可能性のある微生物群として、*Dehalobacterium*属や*Desulfitobacterium*属が比較的高い割合で検出されたが、

塩素化エチレンの完全脱塩素化に寄与していると考えられている*Dehalococcoides*属の細菌は検出されなかった。一方、*Dehalococcoides*属の細菌はリアルタイムPCR法による測定ではM1井戸で増加が確認されており、地下水中の%オーダーでの優占種にならなくても脱塩素化による浄化が進行することが示唆された。

パイロシーケンシング技術で検出された16S rRNAの塩基配列の中で、バイオセーフティレベル<sup>3)</sup>のBSL2以上の病原菌に一致する配列が有機資材注入16日後のM3井戸で検出されたが、特異遺伝子を用いたPCR解析により、侵入因子や毒素などの病原因子を保有しない細菌であることが判明した。

### 3.6 注入井戸および観測井戸内におけるメタンおよび硫化水素発生量

地下水採取前に各井戸内の管頭部におけるメタンガスおよび硫化水素ガス濃度の測定した結果、注入井戸に近いほどメタンガス濃度が高く検出されたが、メタンガス濃度の最高値は爆発限界(5.3%)の1/10以下の0.5%以下であった。また、硫化水素は、試験期間を通じて検出されなかった。

本業務は、経済産業省から委託を受け、「土壌汚染対策のための技術開発」プロジェクトの一環として実施したものである。

#### 参考文献

- 1) 伊藤雅子ら, 大成建設技術センター報第45号, No. 51, 2012.
- 2) 松倉智子ら, 第47回日本水環境学会年会講演集, p. 87, 2012.
- 3) 病原細菌に関するバイオセーフティ指針, 改訂第二版, 日本細菌学会, 2002.

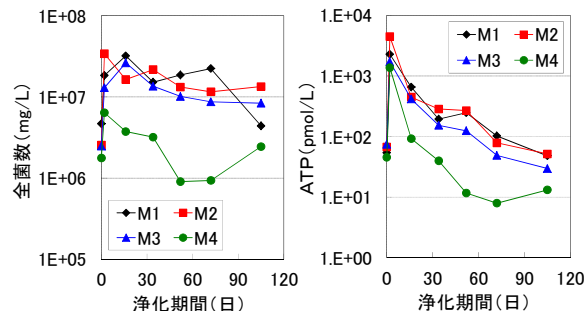


図-8 全菌数の推移

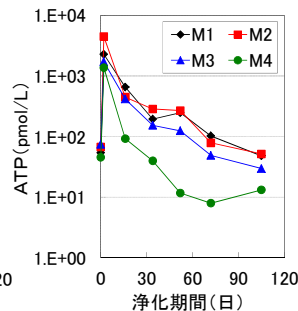


図-9 ATPの推移

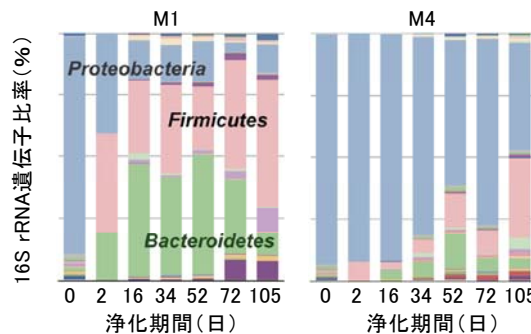


図-10 パイロシーケンシング解析による微生物の門レベル系統分類群の推移

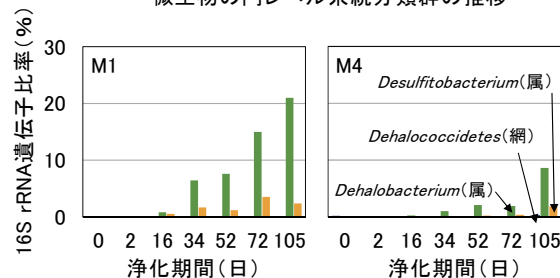


図-11 パイロシーケンシング解析による脱塩素化に関与する可能性のある細菌群の推移