

生物分解処理を用いたVOC汚染地下水の流出防止技術 (第四報)

株大林組 正会員 ○竹崎 聡
 株大林組 正会員 緒方浩基
 株大林組 正会員 峠 和男

株大林組 正会員 西田憲司
 株大林組 四本瑞世

1. はじめに

筆者らは、VOC 汚染地下水の敷地外への流出防止対策として、低コストで狭隘箇所においても施工可能な方法、すなわち、井戸方式による生物分解処理に着目してきた。これまで、図-1 に示すとおり実現場において敷地境界の一部に試験区を設け、シス-1,2-ジクロロエチレン (以下、cis-DCE と記す。) 汚染に対する良好な浄化および流出防止結果が得られた¹⁾。ここでは、新たに地下水環境基準 (以下、環境基準と記す。) が設定された塩化ビニルモノマー (以下 VC と記す。) に対する工法適用性を追加検討した。検討においては、VC 分解酵素遺伝子を有する菌数と地下水中の VC 濃度の相関性を調査し、当該技術の有効性を改めて確認できた。

2. 試験サイトの状況

試験サイトの状況を図-1 に、地層構成を図-2 に示す。汚染地下水はその流れにより工場敷地内に大きく拡がっていた。帯水層の透水係数は $2.8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ であり、有孔間隙率を 0.2 と仮定した場合、地下水実流速は 1.9cm/day と推定された。汚染地下水は GL-4~12 m の帯水層で確認されており、試験エリア内の観測井における地下水中の汚染物質初期濃度は、cis-DCE は 0.5mg/L、VC は 0.058 mg/L であった。一方、地盤中には VC 分解酵素遺伝子を有する *Dehalococcoides* 属細菌の存在が確認されており、生物分解が期待できる状況であった。

3. 試験方法

図-2 に示した構造を有する $\phi 50\text{mm}$ 、ストナーナ長 8m (GL-4~12 m) の井戸 1 本から、水溶性微生物栄養材を注入した。注入は、井戸から半径約 4m、面積 49m^2 の範囲内とした。栄養材が有効間隙率 0.2 の地盤に浸透すると仮定すると、注入量は 78m^3 (平面積 $49\text{m}^2 \times$ 層厚 8m \times 間隙率 0.2) となる。栄養材は、試験期間中 3 回注入した。

観測井は、図-3 に示すとおり配置した。すなわち、注入井より地下水下流側に 1.5 m、地下水の流向に直交する方向へ 3.5 m 離れた位置である。測定項目は、VOC 成分 (cis-DCE、VC)、栄養成分 (TOC)、および VC 分解酵素遺伝子をもつ菌数とした。この菌数の確認にあたっては、採取地下水より DNA 抽出を行い、リアルタイム PCR 法により定量検出した²⁾。

4. 試験結果

以下では、観測井 A のデータに基づき考察する。紙面の都合で詳述できないが、観測井 B も同様の結果であった。

(1) 栄養材濃度の変化

TOC 濃度の変化を図-4 に示す。各観測井で、TOC 濃度は経時的に減少している。TOC 濃度が注入前の値である 10 mg/L 未満となるのは、栄養材注入ごとに 80、70、45 日後と変化する傾向にある。ここで、栄養材注入後、TOC 濃度が 10 mg/L まで低下する期間中に、全ての栄養材が観測井より下流側に移動してしまったことは地下水の流速からも考えにくい。一方で、地盤中に存在する鉄分等の

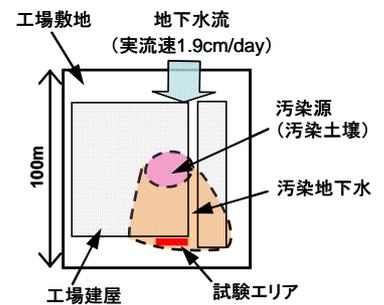


図-1 試験サイトの状況 (平面図)

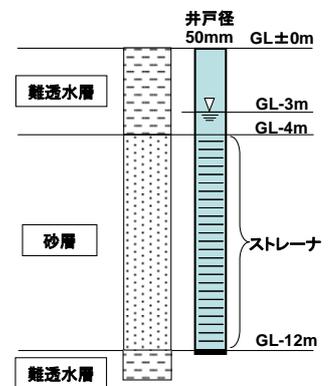


図-2 地層構成および井戸構造

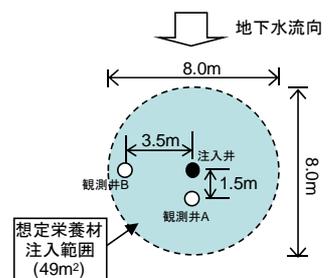


図-3 設備配置図

還元が初回の栄養材添加で完了していると想定すると、TOC 濃度維持期間の変化は、主として菌数の変化（増加）により発生していると推定される。

(2) 汚染物質濃度の変化

VOCs 濃度の変化を図-5 に示す。ただし、cis-DCE の分析値が 0.004 mg/L 未満の場合、便宜的に 0.004 mg/L と表示している。環境基準を満たす期間は cis-DCE で、注入 1 回目は 22 日、注入 2 回目は 113 日、注入 3 回目は試験途中であるが 100 日確保されている。このような浄化効果が注入毎に増加する傾向は、上述の TOC 濃度の傾向と反する。こうした事実から、栄養材が仮に水溶性ゆえ地下水流れにより敷地外へ流出されてしまっても、分解菌は土壤に吸着して地下水に流されにくく、しかも栄養材注入ごとにその存在数を増加させていると推察される。そのため、TOC が 10mg/L 以下と低濃度となった状況下でも、cis-DCE の分解が継続されているものと考えている。

一方、注入 3 回目より調査を開始した VC は、栄養材注入後 40 日より環境基準を満たす状況となっている。よって、本微生物栄養材を用いれば cis-DCE のみならず、VC に対しても浄化可能であることが確認された。

(3) 分解菌数と VC 濃度の関係

遺伝子解析に基づく分解菌量の変化を図-6 に示す。計測は、注入 3 回目より実施している。注入前の分解菌量は $10^2 \sim 10^4$ copies/mL オーダーであったが、栄養材注入により $10^4 \sim 10^6$ copies/mL オーダーまで増加していた。栄養材注入後から 25 日で、cis-DCE は 0.1mg/L から 0.004mg/L に低下し、VC は cis-DCE の濃度低下が完了した後に濃度低下を開始し、栄養材注入後 40 日目に 0.002mg/L 以下まで低下した。その際、*Dehalococcoides* 属細菌の 16SrDNA 量および、VC 分解酵素遺伝子 *vcrA* と *bvcA* の量は 1000 倍以上に上昇した。

別途実施した室内試験において、cis-DCE および、VC の分解に伴い、16SrDNA による *Dehalococcoides* 属細菌数と VC 分解酵素遺伝子保有菌数が増加することが確認されている²⁾。今回、実サイトにおいても同様な傾向が認められ、栄養材注入により、*Dehalococcoides* 属細菌が活性化され、cis-DCE 及び VC が分解されたと考えられる。また、注入 75 日目以降、環境基準以下の極めて低濃度領域であるが VC 濃度に上昇が認められた。TOC 濃度は 10mg/L 以下であることから、栄養材が不足し VC が十分に分解されないため濃度が上昇したと推定している。

5. おわりに

実サイトの浄化試験においても、室内試験²⁾と同様に cis-DCE および VC 分解に、*Dehalococcoides* 属細菌の 16SrDNA および、VC 分解酵素遺伝子 *vcrA* と *bvcA* を保有する菌が影響を及ぼすことが確認された。したがって、栄養材注入前に当該細菌類が確認される条件であれば、VC 分解の可能性も大きくなると考えられる。さらに、これまで数カ月の期間を必要としたトリタビリティ試験に代わり、遺伝子解析の適用により、迅速に、生物分解処理の適用性判断が可能となる。

【参考文献】1)竹崎聡, 他 (2010): 土木学会第 65 回年次学術講演会概要集, 第VII部門, pp.395-396.

2)四本瑞世, 他 (2009): 第 15 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会, pp130-135.

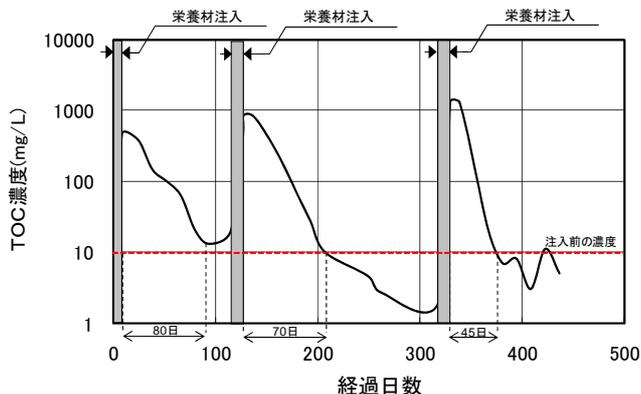


図-4 TOC 濃度の変化

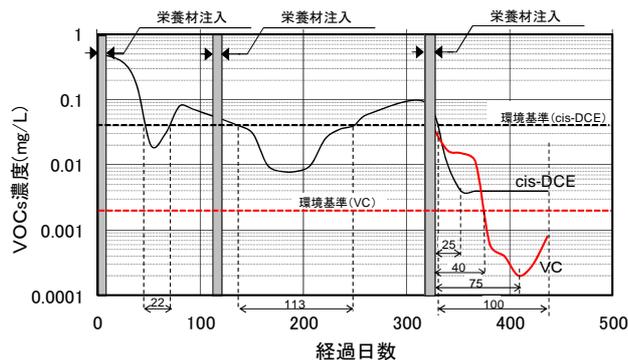


図-5 VOCs 濃度の変化

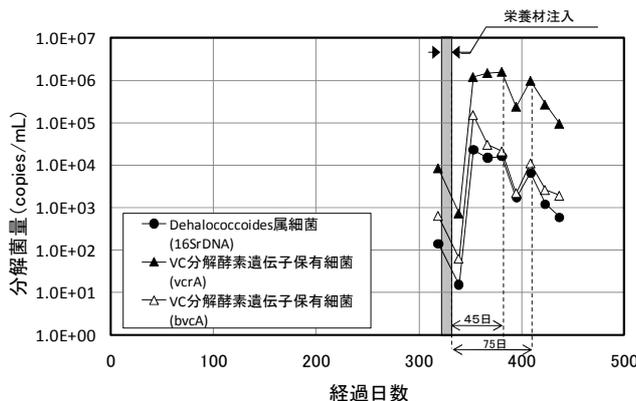


図-6 分解菌数の変化