

バイオレメディエーションの現場適用事例

応用地質(株) ○沼野 浩祐

応用地質(株) 北岡 幸

1. はじめに

トリクロロエチレン等の揮発性有機化合物は、1950年頃より機械工場やクリーニング工場等で主として脱脂洗浄等のため多量に使用され、多くの土壌・地下水汚染を引き起こした。揮発性有機化合物による土壌・地下水汚染の対策は、昭和50年代後半から行われ、汚染した地下水を汲み上げ、曝気して汚染物質を回収する地下水揚水法と不飽和帯の汚染物質を吸引してガス化することにより回収する土壌ガス吸引法が多く用いられてきた。しかし、これらの原位置抽出法は次第に汚染物質の抽出効率が悪化し、浄化が完了しない事例が多い。こういった状況の中、近年は微生物の働きを利用した分解法であるバイオレメディエーションがこれらに代わる浄化対策として大きく期待されている。バイオレメディエーションの中でも特に、汚染現場の地盤中に生息する微生物にバイオ活性化剤（いわゆる微生物のエサ）を与えて微生物を活性化あるいは増殖させ、汚染物質の浄化を図るバイオスティミュレーションが注目されている。

2. バイオ活性化剤による浄化事例

操業中のA工場は、汚染された地下水の敷地外拡散防止対策として、敷地境界に設けた揚水井戸群による地下水対策、汚染源対策として不飽和帯における土壌ガス吸引と汚染源直下の地下水揚水対策を数年間実施している。しかし、依然として汚染源付近の帯水層は地下水基準を超過している。そこで、写真-1に示すバイオ活性化剤を用い、宙水に残存する揮発性有機化合物の高濃度汚染域の浄化を促進するためのパイロット試験（現場小規模実証試験）を実施した。以下にパイロット試験の実施状況を示す。



活性化剤1



活性化剤2

写真-1 バイオ活性化剤

(1) A工場の汚染状況

A工場は、砂質土や砂礫を主体とする洪積台地上に立地している。工場建設時の造成工事で旧地盤面より3～4m程度の盛土が行われた。ボーリング調査では、深度10m以深に分布する砂～砂礫層（粘土混じり砂礫）中の地下

水と、盛土下位の砂混りシルト上面に局所的に分布する宙水を確認している。

この工場ではトリクロロエチレンの使用履歴が確認されている。汚染状況としては、上部に分布する砂混りシルトのトリクロロエチレン濃度が最も高く、No.A 地点では土壌溶出量基準（0.03mg/L以下）の約160 倍、宙水は地下水基準（0.03mg/L以下）の約630 倍の汚染濃度が確認された。この砂混りシルトは、図-1 対象地概要図の「砂混りシルトの分布深度」に示すとおり、No.A 地点から矢印の方向に向かって低くなっており、その比高差は最大1.8mであった。また、深度10m以深の帯水層においても基準（0.03mg/L以下）を超過する地下水汚染が確認されており、高濃度の宙水の移動が下位の帯水層の汚染原因と判断した。バイオスティミュレーションによって、この宙水を浄化するにあたり、適用性を確認するためのパイロット試験を実施した。

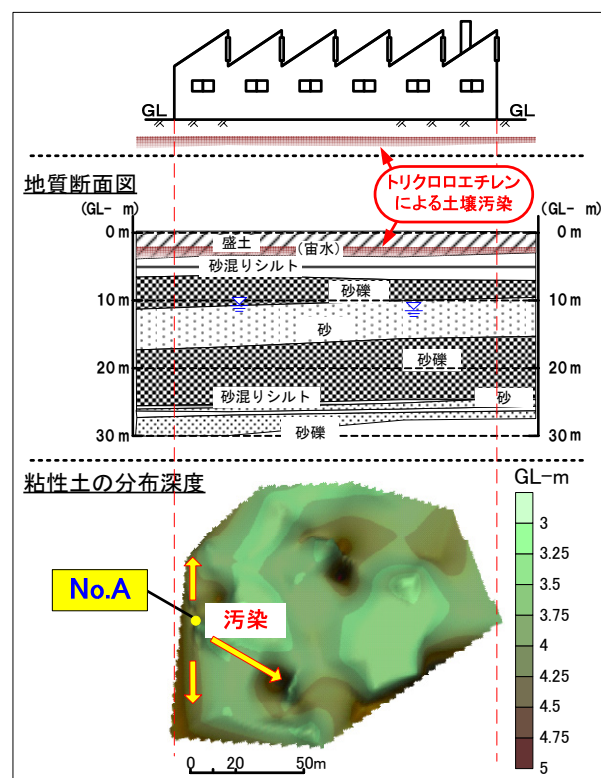


図-1 対象地概要図

(2) パイロット試験結果

パイロット試験は、図-1に示す No.A 地点の周辺で行った。No.A 地点は、汚染範囲の最上流部に位置している。バイオ活性化剤は、トリータビリティ試験の結果に基づき、重量比で活性化剤1：活性化剤2=10:7に配合し、工業用水で100～200 倍に希釈して注入液とした。また、微

生物による生分解や脂肪酸の加水分解で有機酸が生成されて一時的に pH が低下し、微生物の活性化が低下することが懸念されたため、注入液の pH を弱アルカリ性に調整した。No.A 地点での注入は、写真-2に示す方法で行い、ポンプで0.04MPa 程度加圧し、平均注入速度約6リットル/分で合計18m³を注入した。

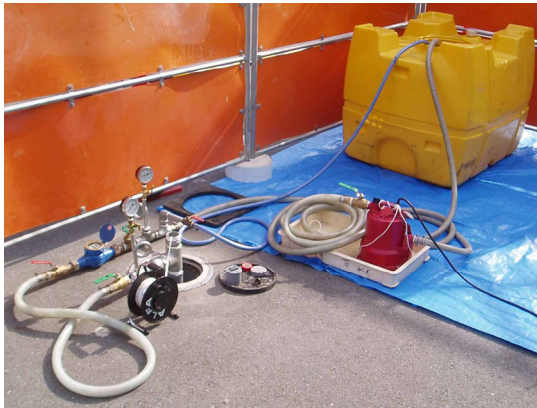


写真-2 バイオ活性化剤の注入状況

トリクロロエチレンは、注入開始から約20日間で地下水基準に適合した（図-2参照）。

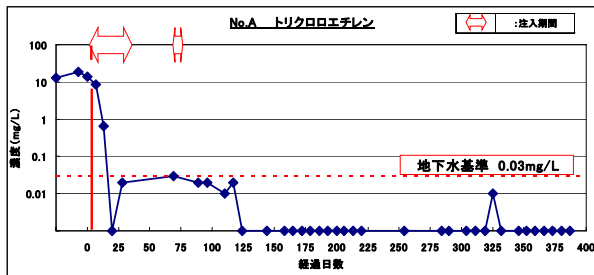


図-2 トリクロロエチレンの濃度推移

トリクロロエチレンの分解生成物であるシス-1,2-ジクロロエチレンは、注入開始から285日目に一旦地下水基準に適合した（図-3参照）。

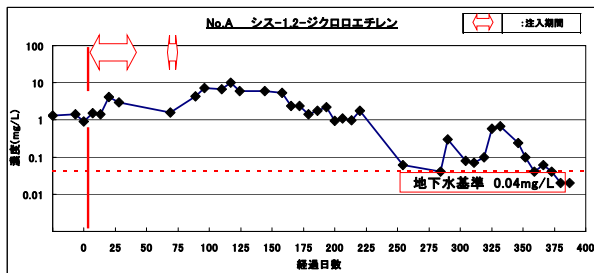


図-3 シス-1,2-ジクロロエチレンの濃度推移

しかし、シス-1,2-ジクロロエチレンは、その後トリクロロエチレン分解に伴う濃度上昇と微生物による脱塩素化による濃度低下を繰り返した。これは、トリクロロエチレンからシス-1,2-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレンから塩化ビニルモノマーへと脱塩素化が進行すると同時に、宙水の基盤となっている砂混りシルトの空隙に吸着したトリクロロエチレンが新たに宙水側に供給され、増殖した微生物によって逐次脱塩素化が

進行している現象と推測される。

また、当該サイトの土壌と地下水を用いて行ったトリータビリティ試験では、トリクロロエチレンが約1ヶ月、シス-1,2-ジクロロエチレンは約2ヶ月で基準を下回った。パイロット試験で地下水基準に適合するまでの時間がトリータビリティ試験に比べて長時間を要した理由としては、①閉鎖的環境下のトリータビリティ試験と異なり、パイロット試験を行った地点の周囲には汚染された土壌が分布していること、②降雨などの影響で周囲から新たな汚染が流入したこと、③トリクロロエチレン分解によって発生した有機酸による酸性化が想定以上に進行し、一時的に微生物の活動が鈍ったこと等が考えられる（図-4参照）。

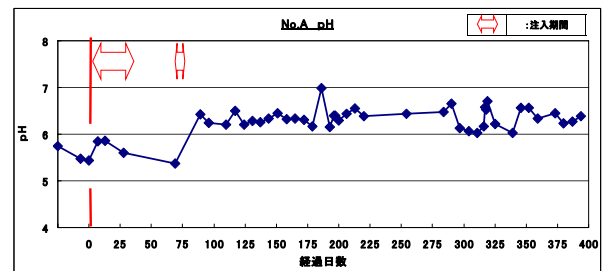


図-4 pH の推移

このパイロット試験を通じて、地下水の pH 管理¹⁾が微生物の活性化にとって重要であることが確認された。

3. まとめ

バイオスティミュレーションの適用性について、稼働中の工場内でパイロット試験を実施した。その結果、バイオ活性化剤注入による微生物の活性化によって、汚染原因物質のトリクロロエチレンが速やかに分解され、即効性が確認できた。また、トリクロロエチレンの脱塩素化に伴って生成されるシス-1,2-ジクロロエチレンに対しても、浄化効果が確認できた。

一方、パイロット試験を通じて、地盤中の pH 管理が重要であることが確認され、当該バイオ活性化剤によるバイオスティミュレーションにおいては、各々の現場に適した pH 調整を行い、微生物の活性化を低下させないことが重要である。

《引用・参考文献》

- 1) William C.Anderson,P.E,DEE (1995) : バイオレメディエーション(BIOREMEDIATION), 微生物による環境修復技術の実例, アメリカ環境保護局, アメリカ国防省, アメリカエネルギー省, p.83.