

操業中の工場に適用するバイオ浄化における課題と対応

応用地質株式会社 ○篠原 真希, 沼野 浩祐

1. はじめに

土壌・地下水汚染の問題を抱える企業では、生産活動が続けながら浄化に取り組むケースがある。本報告では、操業中の工場内でのバイオスティミュレーションにおける計画・設計・施工での課題とその対応を、トリクロロエチレンによる土壌・地下水の汚染が確認された工場を例に報告する。

2. 施工方法の検討

(1) バイオスティミュレーションの適用における課題と対応

バイオスティミュレーションとは、微生物等の働きを利用して汚染物質を分解し、土壌・地下水の浄化を図る技術である。バイオスティミュレーションを操業中の工場に適用する際の課題とその対応を表-1に示す。

表-1 バイオスティミュレーションの適用に伴う課題と対応

| | 課題 | 対応 |
|----|--|---------------------------------------|
| 計画 | 適用可能な地質の制約 | 他の浄化工法との併用 |
| | 分解細菌の存在が必須 | トリータビリティ試験で存在の有無確認 パイロット試験で活性の有無確認 |
| | 適用可能な汚染の濃度の制約 | トリータビリティ試験とパイロット試験で分解の可否を確認 |
| 施工 | 分解細菌の活動に適した基礎水質(pH、溶存酸素量、酸化還元電位)の維持が必要 | 基礎水質(pH、溶存酸素量、酸化還元電位)の調整(調整剤の添加等) |
| | 注入孔スクリーンの閉塞 | 活性化剤添加量の調整 |
| | 有害ガスの発生 | 活性化剤注入量の調整、有害ガスの管理 |
| | | |

(2) 調査から施工の流れ

調査から施工までの流れを図-1に示す。工場では、地下ピットでトリクロロエチレンによる金属製品の洗浄が行われてきた。汚染の発生原因は、地下ピットの底面にあると考えられたため、地下ピット跡を中心にボーリング調査を実施し、土壌・地下水の汚染状況を把握した。その後、対象地に最適な対策工法を検討するために、バイオスティミュレーションの適用性の評価として、トリータビリティ試験及びパイロット試験を実施した。

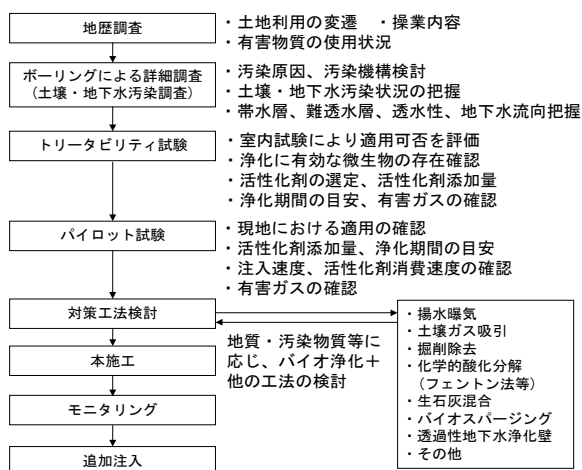


図-1 対象地における調査から施工までの流れ

(3) 対象地の汚染状況

対象地の汚染状況を図-2に示す。工場は、砂質土や砂礫を主体とする洪積台地上に立地し、工場建設時の造成工事によって旧地盤面上に2m程度の盛土が行われている。盛土の下位には粘性土を挟み、その下に帯水層を構成する砂質土層が分布する。対象地の土壌と地下水には、トリクロロエチレンとその分解生成物による汚染が確認された。トリクロロエチレンは、粘性土を主体とする不飽和の盛土を汚染し、さらに粘性土に不規則に含む砂分や構造物を伝って深部へ浸透し、砂質土層の地下水汚染を引き起こしていることが確認された。

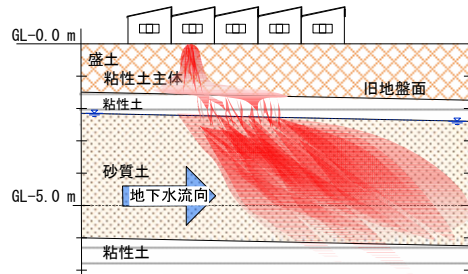


図-2 対象地の汚染状況

3. 浄化対象地での施工

(1) 計画段階での課題と対応

地下水が浅い盛土は、粘性土が主体のためバイオスティミュレーションの適用は困難であるとともに、帯水層の地下水汚染の供給源と考えられたため、先行して除去する方針とした。また、バイオスティミュレーションの適用には、事前に対象地における分解細菌の存在及び分解の可否を検証する必要がある。そこで、トリータビリティ試験による室内検証及びパイロット試験による現場検証を実施した結果、分解細菌の存在及び現地において揮発性有機化合物の分解が確認されたため、バイオスティミュレーションの適用は可能と判断した。

(2) 注入仕様

活性化剤の注入孔は、概ね5m四方に1地点の間隔で配置した。1孔当たりの注入半径を約2.5mと想定し、注入液量を12m³とした。本施工では、注入孔31地点を対象として、約3年半の期間に延べ116地点、活性化剤添加量0.5kg/m³、総注入液量1,392m³として9期に渡って施工を行った。地下水モニタリングは、注入の前後で揮発性有機化合物の濃度及び基礎水質（溶存酸素量、酸化還元電位、pH）、孔内ガス（エチレン、硫化水素、メタンガス）を測定した。

(3) 施工に伴って生じる課題と対応

施工には、分解細菌の活動に適した水質（pH6.0～8.0、嫌気状態）を維持する必要がある。既往の事例では、活

性化剤の分解に伴い有機酸が発生し、pH が低下する¹⁾現象が認められているため、活性化剤に pH 調整剤を添加し、pH を予め8.5程度に調整した。

嫌気状態の維持については、細菌の増殖に伴い酸素が消費され低酸素状態となり、また微生物の多くは増殖に際し酸化還元電位を低下させる²⁾ため、嫌気状態は進むと判断した。

注入孔の閉塞に対する対応として、有機物濃度が高い程細菌の増殖は活発となり、孔の周囲に付着する生物膜が増えると考えられるため、有機物濃度を過剰に上昇させないよう活性化剤添加量を0.5kg/m³とした。

有害ガスの発生に対する対応は、パイロット試験結果から硫化水素及びメタンガスが生成すると考えられたことから、操業への影響を監視するため、孔内及び作業範囲のガス濃度を測定した。

4. 浄化結果

(1) 揮発性有機化合物の濃度変化

揮発性有機化合物の濃度分布を図-3に示す。トリクロロエチレンは約90日後、シス-1,2-ジクロロエチレンは約3年半後に、全地点で基準に適合した。クロロエチレンは、約3年半で基準超過地点が25地点から13地点へ減少した。ほぼ全ての注入孔において、エチレンガスが発生した。

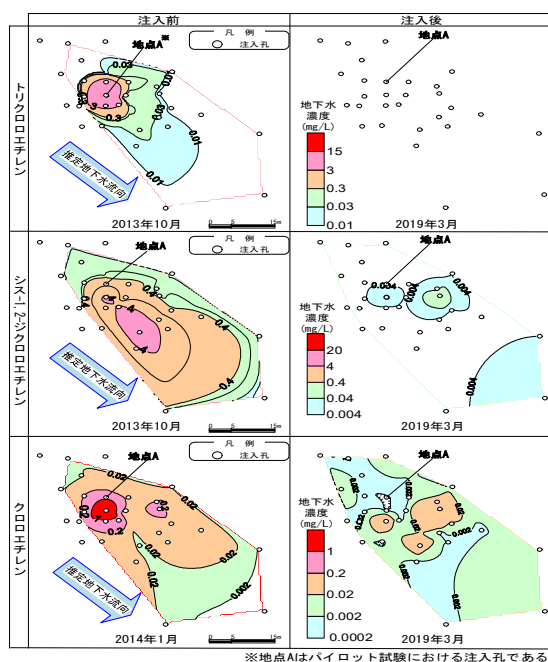


図-3 注入前後の地下水中の揮発性有機化合物濃度分布

(2) 基礎水質の変化

注入前及び注入後の基礎水質を表-2に示す。

表-2 注入前後の基礎水質

| 水質 | 時期 | 注入地点(平均) | 地点A |
|--------|-----|----------|----------|
| pH | 注入前 | 5.9 | 5.7 |
| | 注入後 | 6.5 | 6.7 |
| 溶存酸素量 | 注入前 | 0.38mg/L | 0.22mg/L |
| | 注入後 | 0.19mg/L | 0.10mg/L |
| 酸化還元電位 | 注入前 | 68mV | 70mV |
| | 注入後 | -108mV | -125mV |

地点Aの基礎水質は、pH は5.7から6.7へと上昇し中性

を示した。溶存酸素量は0.22mg/L から0.10mg/L となった。酸化還元電位は70mV から-125mV となり嫌気状態に低下した。注入地点の平均値も同様の傾向を示した。

(3) ガスの発生

注入前後の孔内ガスの濃度を表-3に示す。

表-3 注入前後の孔内ガス濃度

| ガスの種類 | 時期 | 注入地点(濃度範囲) | 地点A |
|-------|-----|-------------|---------|
| メタン | 注入前 | 0.7~50vol% | 1.2vol% |
| | 注入後 | 0.7~100vol% | 75vol% |
| 硫化水素 | 注入前 | 不検出 | 不検出 |
| | 注入後 | 5~1000ppm | 500ppm |

地点Aのメタンは、注入前は1.2vol%であったのに対し、注入後は最大75vol%の発生を確認した。硫化水素は、注入前が不検出であるのに対し注入開始の初期に最大500ppm発生し、その後は減少傾向を示した。注入地点の濃度範囲は、地点Aと同様の傾向を示した。作業範囲においては、硫化水素及びメタンは検出されなかった。

5. 考察

分解細菌及び分解酵素の遺伝子の検出及びエチレンの検出から、分解細菌による浄化が行われたと判断する。また、汚染の供給源である盛土を除去し、濃度の再上昇を防止したことも、浄化が進んだ一因と考える。

対象地の水質においては、pH 調整剤の添加により分解細菌の活動に適した水質の維持が可能であった。

注入孔の閉塞は確認されず、有機物濃度を抑えることで、注入孔の開孔率の維持が可能であると考える。

硫酸還元細菌及びメタン生成細菌は、分解細菌と同じく嫌気状態で活動するため³⁾⁴⁾、硫化水素及びメタンガスが発生したものと考ええる。ただし、硫化水素は地下水中の鉄イオンと結合し減少したと考える。また、トリータビリティ試験により、ガスの発生量が最小のケースを選ぶことで施工への影響を防ぐことができると判断する。

6. おわりに

操業中の工場での土壌・地下水汚染対策には種々の制約を伴うものの、比較的静的な浄化手法であるバイオスティミュレーションが有効であることを確認することができた。一方で浄化にかかる時間の短縮、広範囲へ活性化剤を到達させるための手法の開発が課題である。

《引用・参考文献》

- 1) 北岡幸, 中條邦英, 沼野浩祐, 近藤晋. OYO のバイオ活性化剤 BD-1及び BD-C の適用について. 応用地質技術年報. 2011, 30, p.91-96.
- 2) 古坂澄石. 硫酸還元菌. アーバン&シュヴァー. 1986, 25, p.32-41.
- 3) 松井三郎, 立脇征弘. 硫酸塩還元菌. 環境技術. 1989, 18, p.229-244.
- 4) 西尾尚道. メタン生成菌の生理と利用. 1992, 30, p.537-542.