

(0167) 原位置化学酸化（フェントン反応）とバイオレメディエーションの

複合工法とその施工事例

○小松大祐¹・小川えみ¹

¹株式会社アイ・エス・ソリューション

1. はじめに

1.1 原位置浄化

土壌汚染対策における原位置浄化は、比較的低コストであること、汚染土の移動による汚染の拡散リスクが低いこと、排水等がほとんどなく環境負荷が少ないこと等から、優れた浄化法の一つといえる。一方で、土壌汚染対策法において原位置浄化の措置完了条件は、地下水での基準適合を2年間継続することとされており、そのハードルは高い。この高いハードルをクリアするためには、対象物質の種類、対象地の土壌・地下水の性質、汚染の分布、トリータビリティ試験結果等の様々な事前情報を正確に把握することと、薬剤を適切に汚染物質と接触させる施工技術、ノウハウが要求される¹⁾。

原位置浄化には、化学酸化やバイオレメディエーションのような汚染を分解する手法があるが、それぞれに特徴があり、短所長所がある。

1.2 フェントン反応とバイオレメディエーション

例えば化学酸化の代表としてフェントン反応が広く知られている。フェントン反応は、ヒドロキシラジカルに起因する酸化力を有する反応であり、反応時間は比較的短く、比較的高濃度の汚染に対応できる。よって、短工期で浄化が可能である反面、浄化を成功させるには汚染物質とフェントン反応剤との速やかで確実な接触が必要不可欠である。しかしながら、大都市部の沖積平野に広く存在している粘土やシルト等の粘性土は、その特徴である透水性の悪さや崩れにくさがフェントン反応剤と汚染物質との速やかな接触を妨げる。

一方で、バイオレメディエーションは微生物による汚染物質の分解・無害化を薬剤等で活性化させる方法である。バイオレメディエーションは一般的にフェントン反応と比較し、反応が遅く、工期が長くなってしまいうデメリットを持つ反面、薬剤の種類や施工方法によっては浄化効果を長期間持続させることが可能である。従って、粘性土等に対してもゆっくりと時間をかけることで、薬剤を浸透させ浄化効果を行き渡らせることが可能であり、フェントン反応とは相反する特徴を持つ。

上記のように異なった特徴をもつ化学酸化とバイオレメディエーションを組み合わせることで、概念的には、両者の欠点を補うことが可能である。例えば、塩素化 VOCs 汚染に対して、フェントン反応による酸化分解と嫌気バイオレメディエーションによる嫌氣的脱塩素化を組み合わせることで、粘性土中の高濃度汚染に対しても、有効と考えられる。しかしながら、これまでフェントン反応と嫌気バイオレメディエーションは、組み合わせ一度に施工することは困難と考えられてきた。それは、単にフェントン反応が微生物を殺してしまうだけでなく、フェントン反応により好氣的環境となってしまうことで、嫌氣的環境で起こる嫌気バイオレメディエーションが妨げられるからである。また、フェントン反応剤に使用する薬剤の一部によっても、嫌気バイオレメディエーションが妨げられる可能性が考えられた。

そこで筆者らはフェントン反応後の好氣的環境の土壌において、①速やかに嫌気状態へ移行するバイオレメディエーション促進剤を選定し、②フェントン反応剤の組成を見直した。これにより、フェントン反応後の嫌氣的環境への速やかな移行が可能となり、フェントン反応後の嫌気バイオレメディエーションが可能となった。また、試験や施工機械、施工方法の検討を経て、フェントン反応と嫌気バイオレメディエーションの複合工法について実施工を行った。本発表では、実際の施行例について報告する。

Case study in situ chemical oxidation(ISCO) coupled with bioremediation

Daisuke Komatsu¹, Emi Ogawa¹ (¹In Situ Solutions Co., Ltd.)

連絡先：〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 2-5-2 須田町佐志田ビル 9F

(株) アイ・エス・ソリューション

TEL 03-5297-7288 FAX 03-5297-0242 E-mail d_komatsu@is-solution.com

2. 施工方法

2.1 現地の土質と汚染状況

現地はクリーニング工場の跡地であり、汚染は主にテトラクロロエチレン (PCE)、cis-1,2-ジクロロエチレン (cis-1,2-DCE) であった。図1に現地の簡易的な土質柱状図を示す。表層からローム層、凝灰質粘土層、砂層、凝灰質粘土層であった。凝灰質粘土層の粘土は含水量が多く、粘性が強かった。

汚染は、全層に存在していたが、GL-4.0m～5.0mの凝灰質粘土層で最も濃度が高く、粘土層全体に汚染が浸透している状態であった。

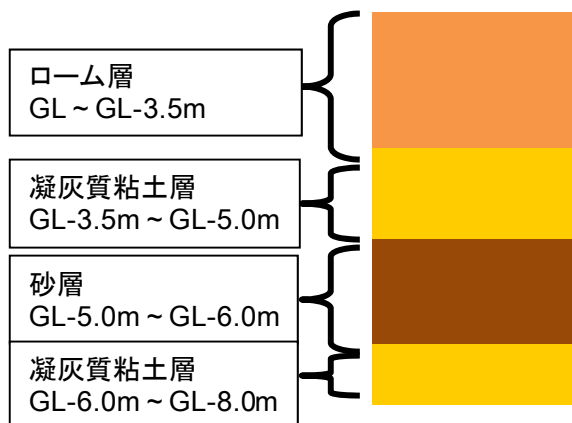


図1 土質柱状図

2.2 使用機械

施工には単軸式の柱状改良機を用いた。柱状改良機は薬剤を吐出しながら先端にある攪拌翼で薬剤と土壌を攪拌混合する機械であり、地盤改良用の機械として幅広く知られている。今回はGL-8.0m程度までを施工できる機種を選んだ。図2、図3に使用した機械を示す。



図2 柱状改良機

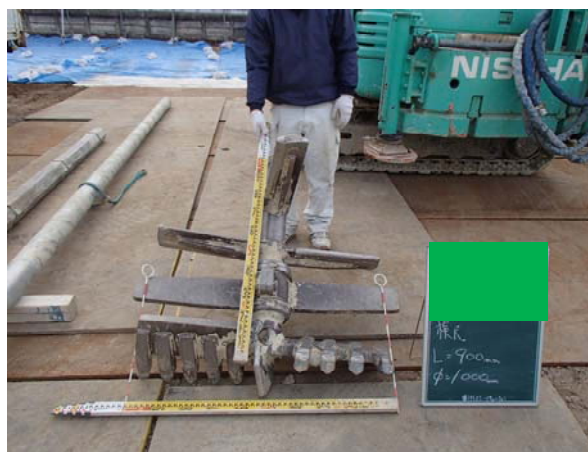


図3 柱状改良機の攪拌翼

2.3 使用した薬剤

薬剤はフェントン反応剤とバイオレメディエーション促進剤を用いた。事前試験の結果、現場の土壌にはフェントン反応の触媒になりえる組成の鉄が十分量含まれていたことから、フェントン反応剤に鉄の添加はしなかった。また、バイオレメディエーション促進剤は、事前試験の結果等勘案し、炭化水素系メインの薬剤を用いた。

2.4 施工の流れ

施工は柱状改良機によるフェントン反応剤の混合攪拌を行った1～2日後、バイオレメディエーション促進剤を同じく柱状改良機によって混合攪拌した。施工の流れを図4に示す。

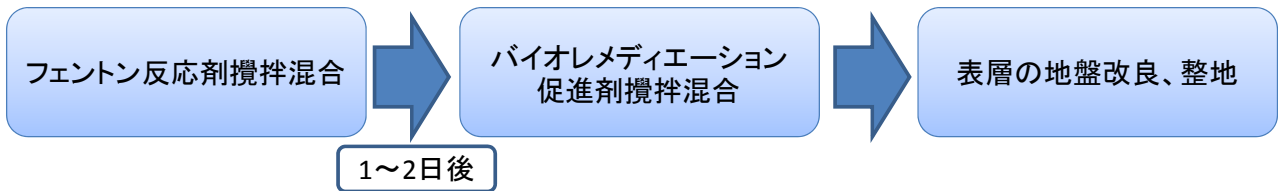


図4 施工の流れ

3. 結果と考察

3.1 VOCsの濃度変化

図5にVOCsの地下水濃度の変化を示す。PCEの地下水濃度は攪拌混合の施工後、ただちに減少し、基準値の1/10程度となった。また、cis-1,2-DCEも施工後ただちに基準値前後の濃度となった。これらの急激な濃度減少は、フェントン反応による酸化分解によるものである。

PCEは7日目以降、緩やかな濃度の減少が見られ、0.001mg/Lを下回るほどとなった。同時期のcis-1,2-DCEは若干の濃度上昇が確認された。このことは、7日目以降、微生物によるPCEの脱塩素化が起り、分解生成物としてcis-1,2-DCEが生成されたことを示すものと考えられる。なお、一度わずかな濃度上昇がみられたcis-1,2-DCEは、その後、さらなる脱塩素化が進み、35日目には既に基準を適合していた。なお、現時点ではまだ施工後1か月程度であるため、今後もモニタリングを続け、バイオレメディエーションの効果を確認していく必要がある。

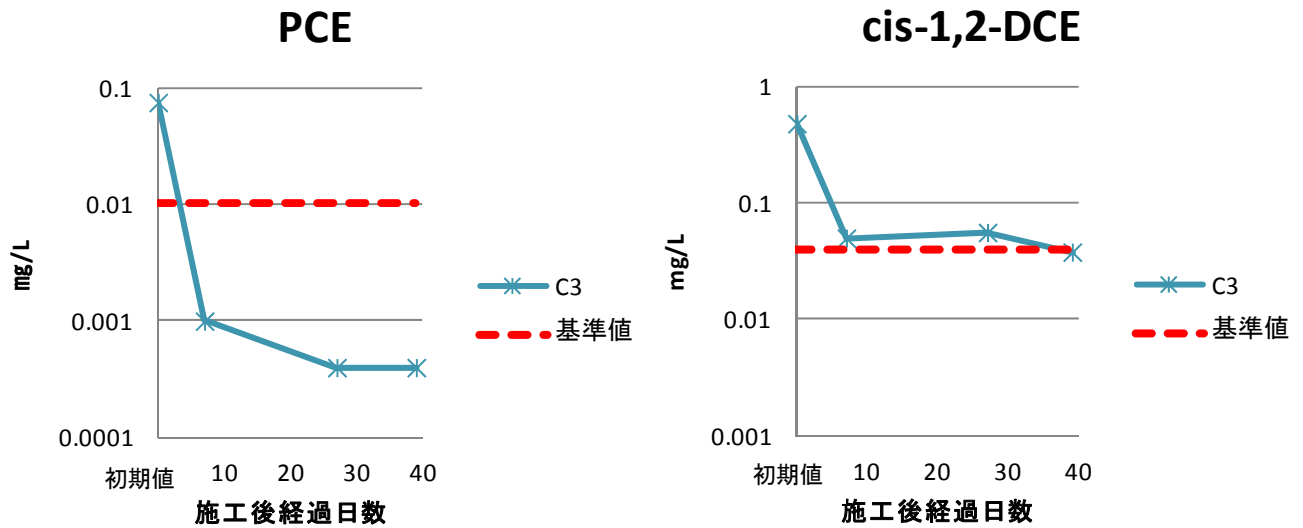


図5 PCE、cis-1,2-DCEの地下水濃度経時変化

3.2 酸化還元電位 (ORP)、溶存酸素 (DO) 濃度の経時変化

図6にORPとDOの経時変化を示す。ORPは、その場が好氣的環境であるか、嫌氣的環境であるかを表す指標である。数値が低いほど嫌氣的環境となり、微生物による脱塩素化が進むとされる。

図6から、ORPは初期には+50mV、DOは3.8mg/Lであり、本サイトは比較的好氣的環境といえる状態であった。さらに、フェントン反応では、反応副生成物として酸素が発生することから、当初、ORPやDOが脱塩素化に適した条件になるには相応の時間を要すると予想していた。しかしながら、施工後約10日目において、ORPは-300mV以下となり、DOは検出されなくなっ

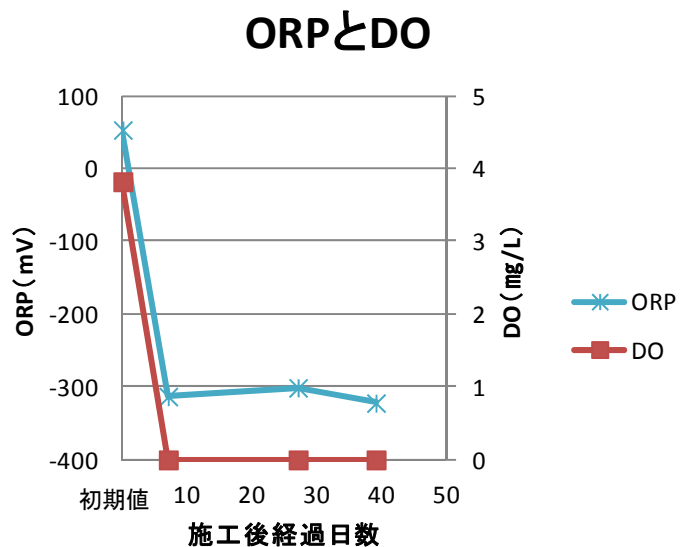


図6 ORPとDO濃度の経時変化

た。これは、当初の予想を超える早さであった。原因として、①土壤に含まれていた有機物等が化学酸化で溶け出すことで、バイオレメディエーション促進剤以上の効果が得られた²⁾、②フェントン反応により酸素が過剰に供給された環境下において、バイオレメディエーション促進剤が投入されたことで、好気的な微生物が活性化され、有機物や酸素等の消費が急激に起きた等が考えられた。

4. まとめ

フェントン反応と嫌気バイオレメディエーションの複合工法は、適切な薬剤選択や施工方法により、有効な原位置浄化の工法となりえることが確認された。化学酸化とバイオレメディエーションの長所と短所を補い合うことで、原位置浄化にとって難易度の高い粘性土の浄化や長期のモニタリングをより確実にクリアしていくことができると考えられる。

今後は、モニタリングを続け、データを蓄積するとともに、化学酸化後の微生物活性化のメカニズム等の解明を進め、化学酸化とバイオレメディエーションの相乗効果をより高めていくことを考えている。

5. 参考文献等

- 1) 大澤武彦 (2010) : 第三世代の原位置化学酸化技術, 環境浄化技術, Vol.9 No.9:P33-37
- 2) Nora BS, Grotenhuis JC, Langenhoff AL, Rijnaarts HM. (2011) : Efforts to improve coupled in situ chemical oxidation with bioremediation: a review of optimization strategies, J Soils Sediments, 11:129–140