

地盤加温が微生物分解に及ぼす影響とその解決策としての
加温式バイオオーグメンテーションの適用検討

株式会社 竹中土木 正会員 ○菅沼 優巳
株式会社 竹中工務店 正会員 山崎 祐二
株式会社 竹中工務店 非会員 北村 岳

1. はじめに

原位置バイオレメディエーション技術は、土壤汚染対策法が定められる前から多くの場所で実施されている技術である。土壤汚染対策法が施行されてしばらくは、土壤汚染対策としては掘削除去が主要な措置となっていたが、原位置バイオレメディエーション技術は低コスト・低環境負荷であり、土地所有者等の事業者から注目されつつある。しかし、従来型の原位置バイオ浄化技術（バイオスティミュレーション）は長期間に及ぶ事例も多く、より短期間となる技術として、地盤を加温することにより分解速度を向上させる技術と、高効率な分解菌を導入することによる浄化速度の高速化を組み合わせる加温式バイオオーグメンテーションの開発を進めてきた¹⁾。加温式バイオレメディエーションは、砂層を主な対象としており、粘性土層には電気発熱法や加熱土壌ガス吸引法等と組み合わせる用いることが効果的と考えられるが、地盤温度をテトラクロロエチレン（以下、PCE と示す）やトリクロロエチレン（以下、TCE と示す）等の揮発性有機化合物（以下、VOCs と示す）が溶け出しやすい 50℃以上の高温域まで加熱した場合の土着微生物への影響が明確になっていない。そこで、本試験では 50℃以上に加温することが VOCs の微生物分解に及ぼす影響の確認と、後段処理にバイオオーグメンテーションを併用した場合の効果について、室内試験により評価を行った。

2. 試験方法

今回実施した試験ケースを表-1 に、試験体作成イメージを図-1 に示す。試験体は、図-1 に示すように 120mL バイアル瓶に汚染サイトの土壌 10g と地下水 96mL を入れて密栓し、気相部を窒素置換した後に PCE を 10mg/L となるように添加した。今回の試験ケースでは、日本国内の平均的な地下水温度におけるスティ

表-1 試験ケース

試験 ケース	温度	分解菌 導入量	栄養剤	pH 調整剤	PCE 追加	備考
	℃	cell/mL	mg/L	mg/L	mg/L	
A	17	—	300	1000	10	常温スティミュレーション
B	17	1.0×10 ⁵	300	1000	10	常温オーグメンテーション
C	17→50→30	—	300	1000	10	加温スティミュレーション
D	17→50→30	1.0×10 ⁵	300	1000	10	加温オーグメンテーション
E	17	—	—	—	10	対照

ミュレーションとオーグメンテーションの比較に加え、*Dehalococcoides* 属細菌が活性化する 30℃における試験を検討した。試験体の加温方法については、電気発熱法による地盤加熱を想定し、国内の平均的な地下水温度である 17℃から、28 日間かけて 50℃まで昇温し、その後 14 日かけて 30℃まで温度を下げ、その後恒温槽で 30℃を維持した。試験体作成後、栄養物質を 300mg/L、pH 調整剤 を 1,000mg/L、*Dehalococcoides* 属 NIT01 株培養液 を 1.0×10⁵cells/mL となるように添加して試験を実施した。

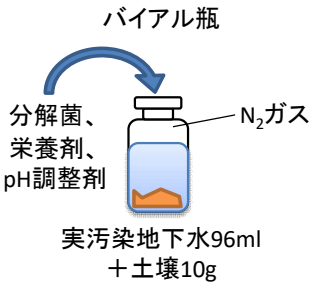


図-1 試験体作成イメージ

3. 試験結果及び考察

各バイアル瓶の液相中の VOCs 濃度の推移を図-2 に示す。常温(17℃)におけるスティミュレーション(A)とオーグメンテーション(B)では、どちらも 35 日経過後に基準適合となり、分解菌を添加したオーグメンテーションの方が、クロロエチレン（以下、CE と示す）濃度の増加がやや早い程度であった。これは、試験に

キーワード 原位置浄化，加温式バイオオーグメンテーション，土壌・地下水汚染，揮発性有機化合物
連絡先 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 株式会社 竹中土木 TEL 03-6810-6215

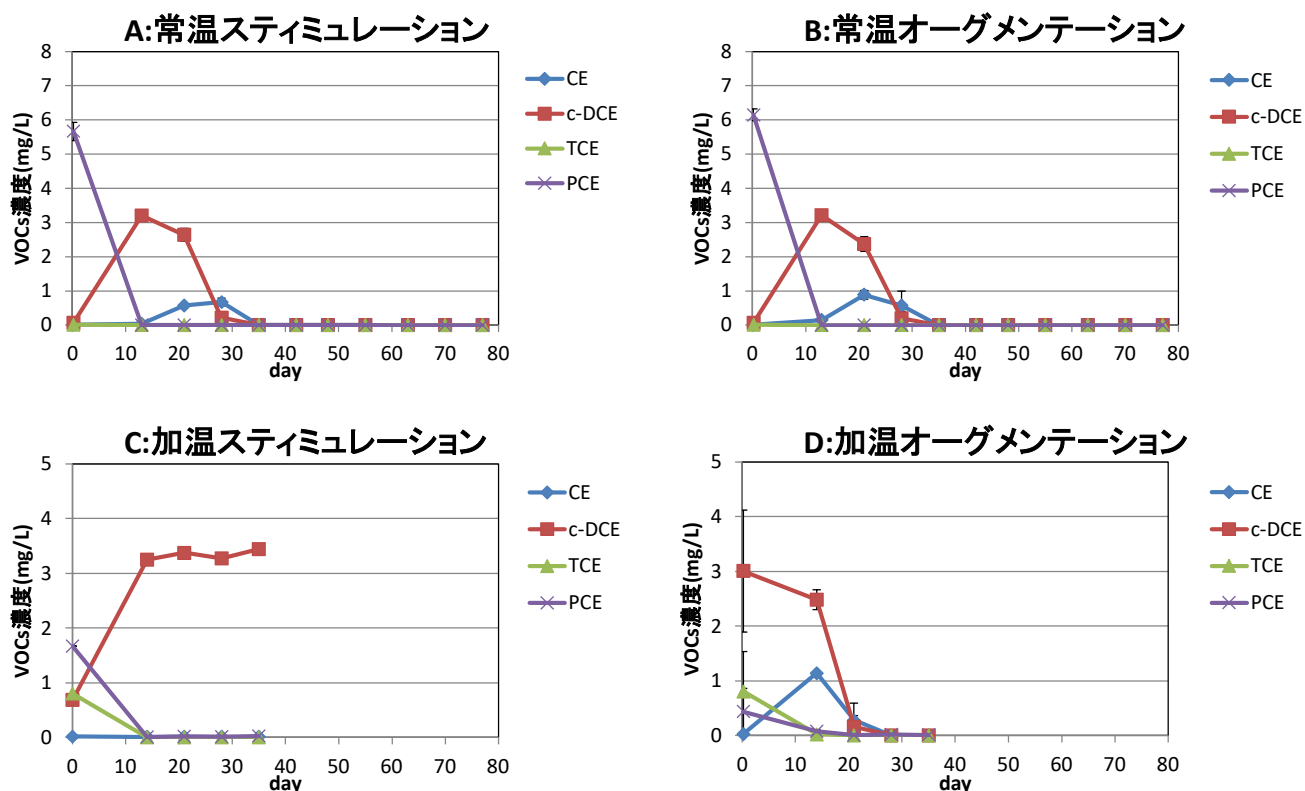


図-2 室内試験結果 (VOCs 濃度変化)

用いた汚染サイトの地下水中には、PCE を CE まで分解する微生物が存在しており、栄養物質を添加することで分解菌を外部から添加しなくても分解が進む状態であるものと考えられる。

一方、加温(17℃→50℃→30℃)スティミュレーション(C)とオーグメンテーション(D)では、ケース C の栄養物質添加のみでは、PCE からシス-1,2-ジクロロエチレン(以下、c-DCE と示す)に分解された後に c-DCE 以降の分解が停滞したのに対し、ケース D の分解菌を注入した系では、28 日経過後に c-DCE および CE の完全な分解が確認された。これは、50℃まで加温することで、土着微生物の分解能力が低下してしまい c-DCE 以降の分解が進まなくなると考えられ、分解菌を添加することで土着微生物へのダメージをカバーできる可能性が考えられた。

4. おわりに

今回の室内試験結果により、50℃以上への高温の地盤加温では土着微生物の活性を低下させてしまう可能性があることが示された。一方で、加温式バイオオーグメンテーションを適用することにより土着微生物の活性低下をカバーできる可能性を確認した。VOCs 汚染土壌・地下水対策が必要なサイトは、国内だけでもまだ数多く存在しており、低コスト・低負荷浄化技術の整備は急務と考える。今後は、実汚染サイトにおいて加温式バイオオーグメンテーションを試適用し、室内試験と同様の効果があるか検証する予定である。

5. 謝辞

本研究は、環境省の低コスト・低負荷型土壌汚染調査対策技術検討調査にて実施した。また、本試験で用いた分解菌の培養液は、名古屋工業大学吉田准教授よりご提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 山崎祐二, 奥田信康, 吉田奈央子(2019): *Dehalococcoides* 属細菌を用いた加温バイオオーグメンテーションの検討, 第 53 回 日本水環境学会年会 講演要旨集 p201