

加熱脱着法とバイオレメディエーションを併用した VOCs 汚染サイトの浄化実証（その1）

大成建設（株）サステナビリティ総本部 正会員 ○須網 功二 正会員 福島 真理子 正会員 大久保 英也
大成建設（株）技術センター 正会員 高畑 陽 正会員 渡邊 竜麻 正会員 伊藤 雅子

1. 目的

難透水層（シルト層・粘土層）の VOCs 汚染は、原位置浄化が容易ではないため掘削除去が適用されることが多かったが、近年、難透水層の VOCs 濃度を低減できる原位置浄化技術として、地盤を加熱し土壌に吸着した VOCs の脱離を促進させる加熱脱着法が実用化されている。今回、帯水層と帯水層下位の難透水層に VOCs 汚染が確認された実汚染地盤において、加熱脱着法とバイオレメディエーションを併用した浄化技術を用いて実証試験を実施した。「その1」では、浄化実証試験の概要、通電による加熱方法、難透水層の浄化効果について報告する。

2. 浄化技術の特徴

実証試験では、地盤に挿入した電極から三相交流の電圧を印加し、土壌自体を発熱させる電気発熱法¹⁾（電気抵抗加熱法）によって土壌を加熱した。浄化菌（脱塩素細菌）の活性化が必要な深度に浄化材を供給する開口部（スリット）が加工され、通電機能と浄化材の供給機能を1本に集約した電極兼用注入管を用いた。本管は、加熱が不要な深度は管の外側に塩ビ管を被せて絶縁しており、加熱が必要な深度のみに効率的に電流を流すことができる。

3. 実証試験の概要

実証試験装置を図1、図2に示す。試験エリアの土質は、地表から盛土（GL-0.0m～0.7m）、粘土混じり砂礫層（GL-0.7m～5.7m）、VOCsの土壌溶出量基準の超過が確認されている粘土層（GL-5.7m～7.0m）となっており、地下水位はGL-1.8mであった。

本試験では6本の電極兼用注入管を1辺2.5mの正三角形の頂点の位置に設置した。また、電極兼用注入管に囲まれた三角形の中央部に温度観測井戸と地下水観測井戸を設置した。通電区間は難透水層を効率的に発熱させるためGL-5m～GL-7mの2mの範囲とした。地盤温度は、GL-4.0m（帯水層の中央部）、GL-5.3m（バイオレメディエーションによる浄化を行う帯水層の下部）GL-6.5m（汚染源である難透水層）の3深度で測定した。

試験フローを図3に示す。浄化開始時にビール酵母を主成分とする浄化材TM-BioQuick²⁾の希釈液を帯水層に供給した。浄化材注入の1週間後から、2回にわたって電極兼用注入管に通電を開始し、帯水層下部（GL-5.3m）に設置した温度計の地盤温度が *Dehalococcoides* 属細菌（以下、デハロ菌）の生育上限である 35℃を超えないように通電量を管理した。浄化開始104～141日目まで、図1に示すTM-3観測井戸からTM-BioQuickの希釈液を追加供給すると共に、帯水層下部（GL-5.3m）の地盤温度をデハロ菌の至適温度である 25～30℃になるように通電量を管理し、202日目まで試験を実施した。浄化対象物質は、トリクロロエチレン（TCE）、1,2-ジクロロエチレン（1,2-

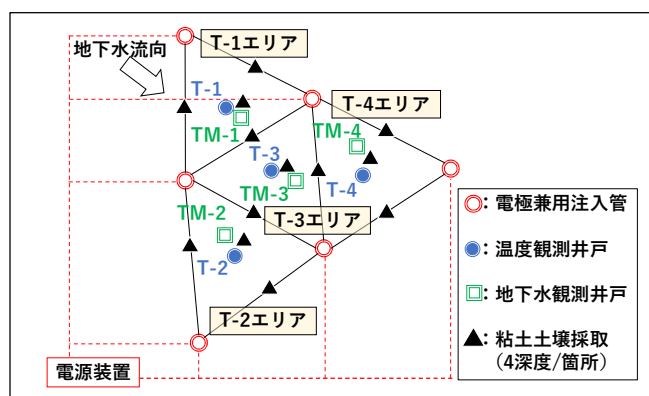


図1 実証試験装置（平面図）

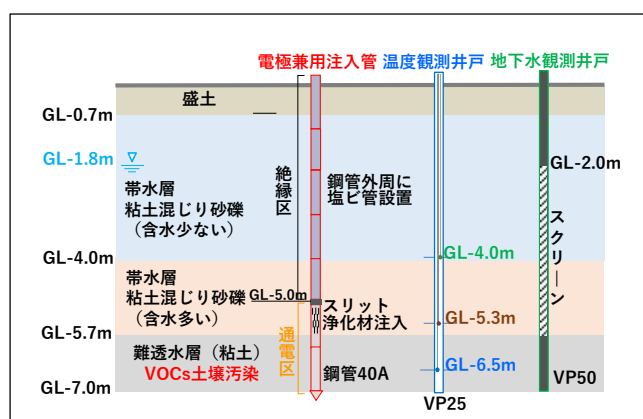


図2 実証試験装置（断面図）

設置した温度計の地盤温度が *Dehalococcoides* 属細菌（以下、デハロ菌）の生育上限である 35℃を超えないように通電量を管理した。浄化開始104～141日目まで、図1に示すTM-3観測井戸からTM-BioQuickの希釈液を追加供給すると共に、帯水層下部（GL-5.3m）の地盤温度をデハロ菌の至適温度である 25～30℃になるように通電量を管理し、202日目まで試験を実施した。浄化対象物質は、トリクロロエチレン（TCE）、1,2-ジクロロエチレン（1,2-

キーワード 電気発熱法、バイオレメディエーション、VOCs、難透水層、実証試験、地盤温度

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5194

DCE), 及びクロロエチレン (VCM) であり, 図 1 で示す▲印の位置 (13 箇所) で難透水層の GL-5.7m, -6.0 m, -6.5m, -7.0m の 4 深度から試験前後に粘土試料を採取し, 土壤溶出量 (環境省告示第 18 号) と土壤含有量 (底質調査法) を測定した. 試験期間中は地盤温度等の通電に関するデータを 10 分のインターバルで自動計測した. また, GL-5.0m の深度で定期的に地下水を採取し VOCs 濃度等についてモニタリングを行った.

4. 実証試験結果

4. 1 地盤温度

図 1 の実証試験装置 (平面図) に示す T-3 エリアにおける土壤中 (電極) に流れる電流の推移, 各深度 (GL-4.0m, -5.3m, -6.5m) の地盤温度の推移を図 4, 図 5 にそれぞれ示す. 着色部は図 3 に示す通電状況を示す.

連続運転又は間欠運転 (通電と停止を繰り返す) で, 電極 (土壤中) に流れる電流を制御することによって, 帯水層下部 (GL-5.3m) の地盤温度を設定した温度に概ね制御することができた. 帯水層より比抵抗値が小さい難透水層 (GL-6.5m) の地盤温度は, GL-5.3m より 5℃程度高く推移した.

4. 2 土壤汚染

T-3 エリアの TM-3 観測井戸近傍における難透水層の試験前後における VOCs の土壤溶出量と土壤含有量の減少率を表 1 に示す. VCM, 1,2-DCE, TCE の減少率はそれぞれ 95%, 68%, 85%であり, 試験終了後は概ね土壤溶出量が基準値以下となった. 土壤含有量の減少率は 93%, 90%, 71%であった.

5. 考察

- ① 土壤への通電の ON/OFF を管理することで, 帯水層下部の地盤温度をデハロ菌の浄化活動に適した温度である 25~30℃に制御することができた.
- ② 本試験では, 帯水層の温度管理を行ったため, 難透水層の地盤温度の上昇は最大で約 40℃であったが, 難透水層から帯水層への VOCs の溶脱を促進することができた.

6. おわりに

本試験は, 環境省受託事業である「令和 3 年度低コスト・低負荷型土壤汚染調査対策技術検討調査」で実施したものである. 「その 2」では, 難透水層から溶脱した塩素化エチレン類の脱塩素細菌による浄化について述べる.

参考文献

- 1) 佐藤徹朗, 瀬野光太, 長曾哲夫: VOC 汚染サイトにおける電気発熱による原位置浄化対策への影響について (その 5), 第 23 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.634-639, 2017.
- 2) 高畑陽, 伊藤雅子: 塩素化エチレン類による汚染地下水に対するバイオ浄化材の開発, 環境浄化技術, Vol.18, No.5, pp.38-41, 2019.



図 3 試験フロー

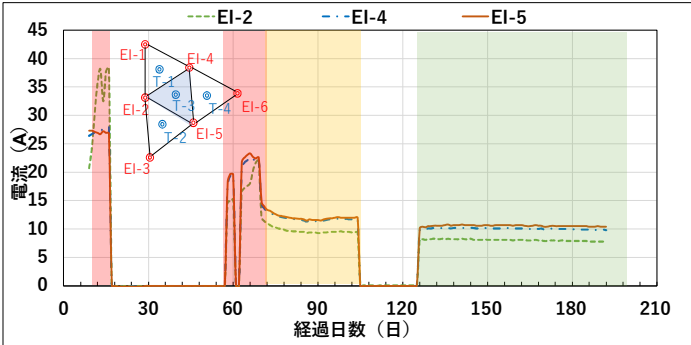


図 4 土壤 (電極 EI) に流れる電流の推移 (T-3 エリア)

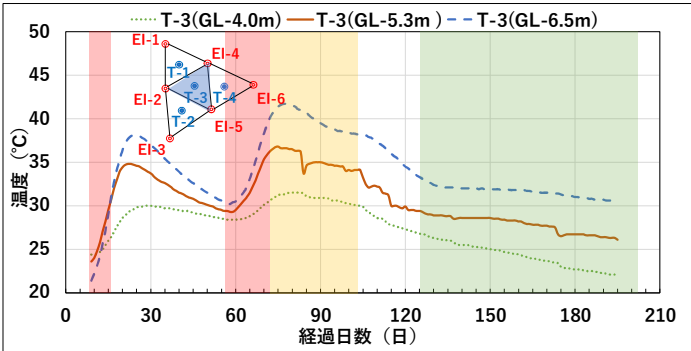


図 5 地盤温度の推移 (T-3 エリア)

表 1 試験前後の難透水層の土壤溶出量, 土壤含有量

	VCM		1,2-DCE		TCE	
	溶出量 mg/L	含有量 mg/kg	溶出量 mg/L	含有量 mg/kg	溶出量 mg/L	含有量 mg/kg
試験開始前	0.050	2.270	0.031	2.026	0.075	3.478
試験終了後	0.003	0.149	0.010	0.202	0.012	1.006
減少率	95%	93%	68%	90%	85%	71%

※土壤溶出量と土壤含有量は 4 深度の平均値