

地下水流速の大きい地盤汚染現場における原位置バイオ工法の開発（その2）

(株)大林組 正会員 ○本田 ゆう子 緒方 浩基 フェロー 西田 憲司
正会員 佐藤 祐輔 日笠山 徹巳

1. はじめに

汚染地盤の原位置バイオスティミュレーションにおいては、多くの栄養剤が開発され、適用現場の施工条件に合わせて各種使い分けられている。それらのうち、汚染帯水層へ注入される栄養剤は、いずれも地下水流速が大きい場合等、所定の効果を発揮する前に浄化対象範囲から流出する懸念があった。土粒子への吸着力が高いとされる乳化植物油を主成分とした粒径の大きな栄養剤であっても例外ではない。しかし、同栄養剤は難水溶性であることから、汚染濃度が高く汚染分解に時間を要する現場などへの適用ニーズは高い^{1),2)}。

そこで筆者らはこれまでに、乳化植物油を主成分とする栄養剤を酸性側に pH 調整することで栄養剤を凝集し、浄化対策範囲から流出する懸念を解決する方法を検討してきた。今回、微生物栄養剤（乳化植物油）と pH 調整剤を段階的に、近接する異なる井戸から注入し、栄養剤の流出性状について地下水モニタリングを継続して行った。本報は、同一の地盤に pH 調整を行わずに栄養剤を注入した場合と比較して流出抑制効果を考察する。

2. 試験方法

2.1 本技術の特長

本技術は地盤内の嫌気性微生物を活性化させ、酸素を消費させることによって地盤中を還元環境とし、VOCsを分解あるいは重金属等を不溶化する。それにより地下水中のVOCsは濃度低下し、 Cr^{6+} は Cr^{3+} に変化して無害化される。本技術はこうした原理を利用し、栄養剤自体をpH調整により地盤内で凝集させることで地下水流速の大きい現場においても、栄養剤が地下水に流されることなく微生物の活性化を可能とするものである。掘削を伴わない工法であるため、対策費用は掘削除去に比較して低コスト、かつ環境負荷の小さい技術といえる。

2.2 適用地盤

現場地盤の代表土質柱状図を図-1 に示す。栄養剤および pH 調整剤を注入する帯水層は、自然水位 GL-3.6m を有する表層の埋土から GL-8m 付近の砂層までである。特に、GL-7～-8m の砂礫層は粒径 $\phi 5 \sim 20\text{mm}$ の礫が主体で、揚水試験結果に基づく透水係数は $5.4 \times 10^{-3}\text{m/s}$ であり非常に大きい。単孔式流向流速調査結果によると、流向はほぼ一定方向であり流速は有効間隙率を 0.2 と仮定した場合 $0.2 \sim 0.6\text{m/d}$ であった。

2.3 試験方法

前節の地盤において、表-1に示すとおり pH 調整剤を注入する Case-1 と注入しない Case-2 の 2 ケースを設定して栄養剤を注入し、それらの効果を比較した。

Case-1 では井戸 3 に粒径 1.885 μm , 乳化植物油を 20%濃度に希釈した栄養剤を平均で半径 1.0 m, 深度 4.0 m 相当量の体積 2.6 m^3 を地上より 50cm の高さからホースで自然流下して注入した。栄養剤浸透後, その両側に位置する井戸 2, 4 からグルコン酸を 0.3%濃度に希釈した pH 調整剤をそれぞれ 3.35 m^3 を注入した。こうした段階注入により栄養剤と pH 調整剤で栄養剤が凝集し, 土壤に付着すると推定される。その後, 地下水の pH, EC, ORP, さらに TOC として TOC を定期的に分析した。

Case-2 は Case-1 と同じ地盤だが、異なる時期に井戸 1 から乳化植物油を 2%濃度に希釈した栄養剤 6m³を注入し、Case-1 本試験と同様の項目で地下水モニタリングした。Case-1 と Case-2 は同じ地盤への注入であり、地下水流動もほぼ同様であったため、注入井戸は異なるが栄養剤の流動性等を比較することには問題はないと考えた。

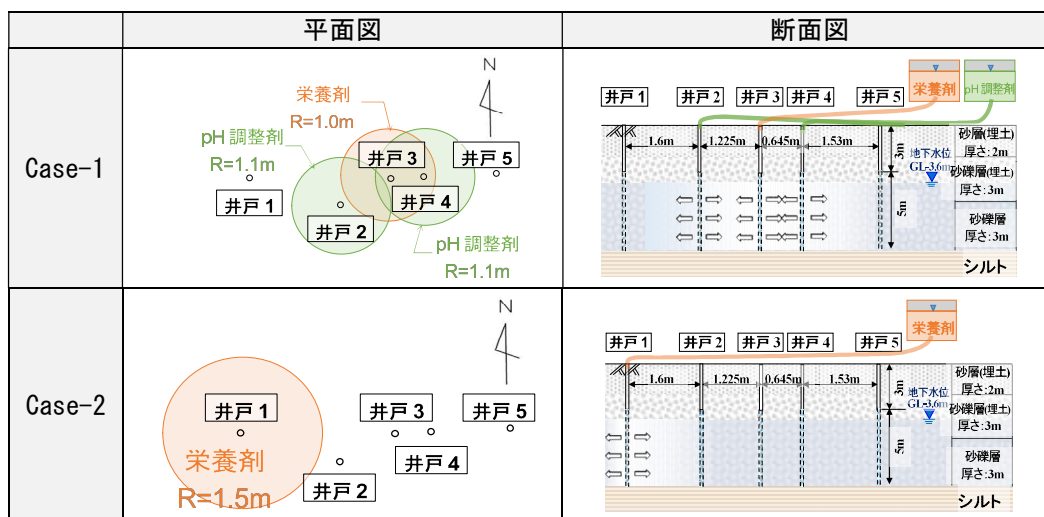
色調	土質区分	柱状図	深度(m)	層厚(m)	標高(m)	標尺
暗褐色/褐/暗緑	埋土					
暗褐色/砂	中砂		72.17	4.95	4.95	
砂	砂		69.92	2.25	7.20	
砂礫	砂礫		69.42	6.70	6.90	
シルト						

図-1 土質柱状図

キーワード 微生物, 原位置, 栄養剤, 現場試験, pH 調整, 砂礫

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組 TEL 03-5769-1054

表-1 各試験ケースの平面図および断面図



3. 試験結果と考察

図-2より、初期段階で地下水基準不適合にあった Cr^{6+} 濃度は、両ケースで基準適合となり、栄養剤注入による地下水中の Cr^{6+} の無害化効果が確認できる。そして、Case-2は230日経過から基準不適合になるのに対し、pH調整を注入するCase-1では、430日経過時点でも基準適合を維持していた。pH挙動も、図-3からCase-1がCase-2に比べて中性を長期に示しており、微生物活性化に寄与できていると推察される。

一方で、図-5のTOCの低下傾向は両ケースともほぼ同じであり、本技術が目指した栄養剤の地盤内での凝集効果が明確ではない。図-2, 3が示す傾向にも矛盾しているように考えられる。しかし、図-4に示すORPに関しては、Case-1は長期間にわたって負の値を示し、正の値を示すCase-2に比して、明らかに還元雰囲気を維持できていると考えられる。

これらの結果より、pH調整による地盤内での栄養剤凝集は、土壌間隙の極めて小さいスペースに生じていると推察される。すなわち、地下水の大きな流れによって栄養剤の大部分は流出するおそれがあるが、わずかな凝集分が地盤内の間隙部に点在する。そして、それらがゆっくり時間をかけて溶出して還元雰囲気を作り、結果として微生物の活性化、そして Cr^{6+} の無害化を維持していたと考える。

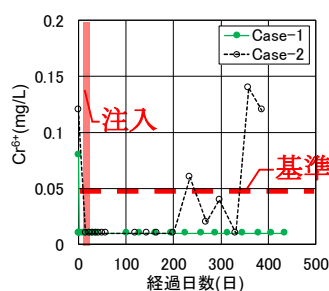
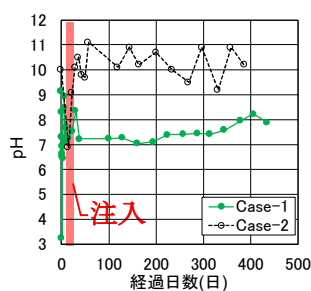
図-2 Cr^{6+} の経時変化

図-3 pHの経時変化

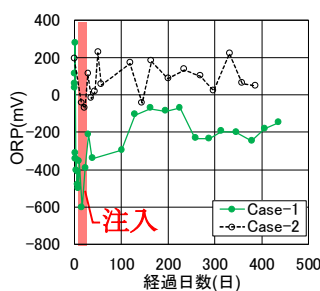


図-4 ORPの経時変化

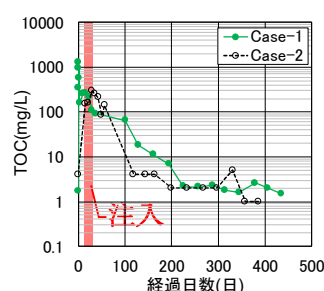


図-5 TOCの経時変化

4. おわりに

地下水流速の大きな現場では、原位置バイオスティミュレーションでの栄養剤が所定の効果を発揮する前に敷地外へ流出する懸念があった。しかし、栄養剤の種類によっては酸性へpH調整することでその懸念を解消することが出来ることを確認した。

参考文献

- 1) 本田ゆう子, 他: 地下水流速の大きい地盤汚染現場における原位置バイオ工法の開発, 土木学会, VII-27, 2019.
- 2) 佐藤祐輔, 他: VOCs 実汚染現場での原位置微生物処理における pH の影響 (その 2), 第 22 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会, S6-16, 2016.