

バイオ浄化による VOCs および油汚染土壌の修復技術の検討

応用地質(株) ○浅野 裕一
沼野 浩祐

1. はじめに

揮発性有機塩素化合物（以下、VOCs）は、1950年頃から主に機械部品の脱脂剤として用いられてきたが、1989年に規制されるまで特別な管理なく使用されてきたため、油とともに地下浸透し多くの工場等で土壌・地下水汚染を引き起こした。VOCs 用途の性質上、VOCs 汚染と油汚染は混在することが多く、双方の汚染に対し工場の操業に影響しないバイオ浄化を適用することへの期待は大きい。

しかし、VOCs の浄化には嫌気性微生物、油の浄化には好気性微生物と、分解に寄与する微生物の性質が相反するため¹⁾、微生物の活性化剤や地盤環境など、浄化の施工条件が異なる。

本試験では、VOCs と油の複合汚染に対してバイオで浄化の可能性を判断するため、現地の汚染土壌を用いて、油と VOCs のそれぞれのトリートビリティ試験（以下、TB 試験）を行い、バイオ浄化の適用可否を検討した。

2. 現地の概要

現地は、斜面を造成した丘陵地にあり、砂質土や砂礫を主体とする洪積台地上に立地している。A 工場は、深度2 m 付近まで盛土層、深度2 m～6 m 付近に地山の粘性土が分布し、この粘性土上面に宙水を確認した。深度6 m 以深は砂～砂礫層で、第一帯水層に該当する。

A 工場では図-1に示すように土壌・地下水が VOCs と油で汚染されている。土壌・地下水の汚染物質の測定結果を表-1に示す。

A工場…VOCs・油による土壌地下水汚染

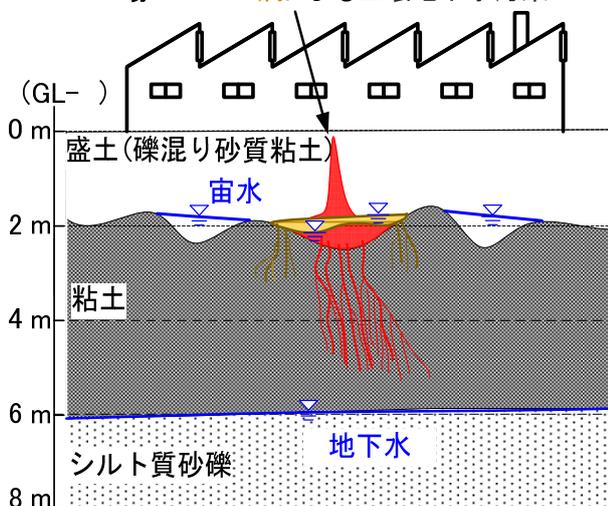


図-1 A工場の土壌地下水汚染概要図

表-1 A工場の土壌・地下水測定結果

対象物質	区分	土壌 (mg/L)	宙水 (mg/L)	地下水 (mg/L)	基準値 ^{※1} (mg/L)
トリクロロエチレン		0.10	0.66	0.002 未満	0.03
シス-1,2-ジクロロエチレン		1.3	36	0.14	0.04
クロロエチレン		0.31	5.4	0.32	0.002 ^{※2}
油(潤滑油)		23000 (mg/kg)	170	—	—

※1: 土壌は環告第18号土壌溶出量基準、宙水および地下水は環告第17号地下水環境基準
 ※2: 環告第10号地下水の水質汚濁に係る環境基準(塩化ビニルモノマー)

3. TB 試験の方法

(1) 嫌気性微生物による VOCs の分解

試料として、盛土と宙水およびその下部の粘性土を採取した。採取した土壌は空気に触れないようにあらかじめ汲み上げた現地の地下水に浸漬させて、密閉状態で混合し、粒径2 mm 以下にろ過した後（固液比1:4）、炭酸水素ナトリウムで pH 7 に調整した。この調整試料2 kg をアルミニウムバッグに分注し、試薬（トリクロロエチレン）を加えて濃度を1.0 mg/L に調整した。表-2に示す試験条件で活性化剤（炭素源：植物油からなる活性化剤 A、窒素源：穀物からなる活性化剤 B）を添加し、密閉状態のまま20°Cで培養した。

VOCs 濃度の推移は、ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）にて測定した。

表-2 嫌気性 TB 試験条件 (VOCs 対象)

条件	植物油由来 炭素源	穀物由来 窒素源	リン	カリウム
	水1000Lあたり配合量(kg)			
ブランク	0	0	0	0
ケースA	0.5	0.5	0.8	0.8
ケースB	0.5	0.5	0	0
ケースC	0.25	0.25	0	0

(2) 好気性微生物による油の分解

試料として、盛土とその下部の粘性土を採取した。採取した土壌は現地の地下水に浸漬させて攪拌混合し、粒径2 mm 以下にろ過した（固液比1:4）。その後送気ポンプで酸素飽和させ、培養容器（250 mL ガラスビン）に200 mL ずつ分注した。表-3に示す試験条件になるように活性化剤（リン酸水素二アンモニウム、リン酸二水素カリウム）を添加し、大気開放状態のもと20°Cで培養した。

培養中は、油の分解過程で生成される二酸化炭素（以下、CO₂）を測定することで、油分解の傾向を把握した²⁾。CO₂濃度は、培養容器にキャップをして1時間振とうし、5時間静置した後、ヘッドスペースガスを TCD 検出器付ガスクロマトグラフで測定した。

試験開始時および CO₂発生 の収束後には、GC-FID により油分（TPH）濃度を測定した。

表-3 好気性 TB 試験条件 (油対象)

試験条件	炭素(C) (mgC)	窒素(N) (mgN)	リン(P) (mgP)	カリウム(K) (mgK)	炭素(油)100に対し 窒素:リン:カリウム
ブランク	128	0	0	0	100 : 0 : 0 : 0
ケース1	128	12.8	1.28	0	100 : 10 : 1 : 0
ケース2	128	12.8	1.28	1.28	100 : 10 : 1 : 1
ケース3	128	12.8	2.56	0	100 : 10 : 2 : 0
ケース4	128	12.8	2.56	1.28	100 : 10 : 2 : 1
ケース5	128	25.6	5.12	0	100 : 20 : 4 : 0
ケース6	128	25.6	5.12	1.28	100 : 20 : 4 : 1
ケース7	128	12.8	5.12	0	100 : 10 : 4 : 0
ケース8	128	12.8	5.12	1.28	100 : 10 : 4 : 1

4. TB 試験の結果

(1) VOCs の分解状況

VOCs を対象とした嫌気性 TB 試験結果を図-2に示す。

トリクロロエチレンの分解生成物であるシス-1,2-ジクロロエチレン、クロロエチレンも全て分解したのは、活性化剤に加えリン・カリウムを添加したケース A のみであった。環境基準を下回るまで110日間を要した。

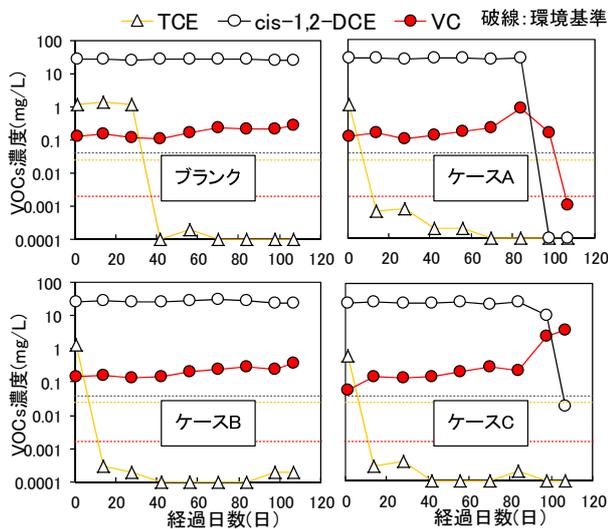


図-2 VOCs を対象とした TB 試験結果

(2) 油の分解状況

CO₂濃度の測定結果を図-3に示す。試験開始20日目から CO₂の発生が認められ、71日目で濃度が最も上昇し、その後86日目に全てのケースで CO₂発生が収束した。CO₂の発生量はケース6が最も多かった。

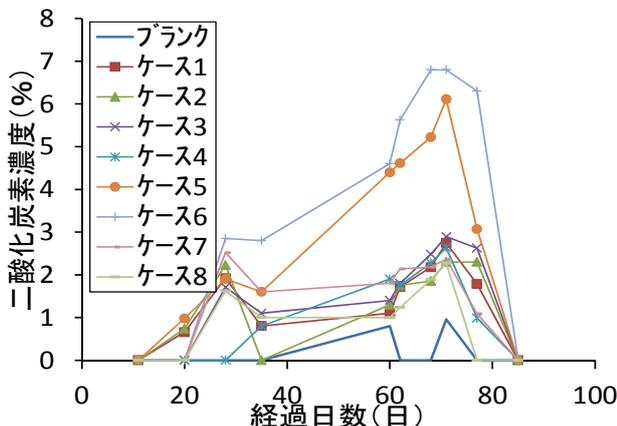


図-3 二酸化炭素濃度の測定結果

次に、TPH の測定・油分の観察結果を図-4に示す。

油臭・油膜は、86日目のケースのみ認められなかった。試験開始時の TPH 濃度は410 mg/L であった。CO₂の発生が収束した86日後の測定では、ブランク118 mg/L に対し、ケース6は15 mg/L (ブランクに対して87%減少)、その他は19~59 mg/L であった。

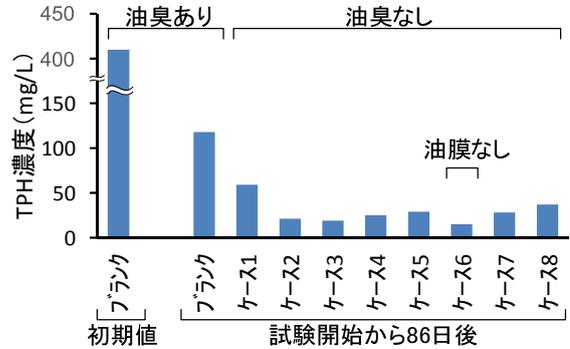


図-4 TPH の測定・油分の観察結果

5. まとめ

現地の VOCs 汚染土壌を用いて、嫌気状態で有機質の活性化剤添加量の違いによる浄化効果の確認、およびリン・カリウムが VOCs 分解に及ぼす影響を確認した。その結果、リン・カリウムは VOCs の分解を阻害せず、高濃度シス-1,2-ジクロロエチレン (36 mg/L) を含む VOCs を110日間は無害な物質まで分解できた。

現地の油汚染土壌を用いて、好気状態で窒素・リン・カリウムの添加量の違いによる浄化効果を確認した。その結果、現地に適した活性化剤の割合は、油の炭素100に対して窒素:リン:カリウム=20:4:1であることがわかり、410 mg/L の油 (潤滑油) を86日間で15 mg/L まで分解できた。また、油膜・油臭ともに無くなったことを確認した。油分解の傾向は、煩雑な TPH 試験によらず、油の分解により生成する CO₂濃度の測定で把握できた。

A 工場のような還元環境の地盤では、VOCs の分解に他方の活性化剤による浄化の阻害はなく、それぞれに適した活性化剤の条件により地盤環境を整えることで浄化の進むことが示唆された。現地での本施工にあたっては、地盤の環境ごとにあらかじめ TB 試験を実施し、適切な設計条件を求めることが重要である。

《引用・参考文献》

- 1) 片山新太:有機塩素化合物の微生物分解,地球環境, Vol.1, No.1, pp.45~53, 2009.
- 2) 岡村和夫・田崎雅晴・黒岩洋一:地中 CO₂による油汚染土壌の簡易モニタリング技術の開発,清水建設研究報告, Vol.83, pp.19~24, 2006.