

N-5 油汚染土壌の原位置バイオレメディエーション における溶存酸素供給量と浄化効果についての検討

○田中 宏幸^{1*}・吉浪 賢史²・川西 順次²・松久 裕之²・内山 裕夫¹

¹筑波大学大学院 生命環境科学研究科（〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1）

²株式会社鴻池組 土木技術部（〒530-8517 大阪市北区梅田3-4-5）

* E-mail: tanaka_hy@konoike.co.jp

1. はじめに

原位置バイオレメディエーションの影響半径や浄化期間を推定するためには、地盤に供給した栄養塩や電子受容体の消費量や地下水の流速等に応じた浄化挙動の把握が求められる。飽和帯水層の油汚染に対する好気性バイオレメディエーションの浄化効率は、種々の要因に影響を受けるが、今回は、酸素の供給と油分の低減の關係に注目し、A重油、タール等、数種類の油による模擬汚染土壌のカラム実験を実施し、供給する物質質量に応じた浄化速度について検討した。

法によった。

土壌の分析は、実験の開始前と終了後にカラム内の土壌を取り出し図-2に示すように分割して採取した。こう

表-1 実施条件

指標	数値
土壌	砂質 (105~800 μm)
有機物量	1.1%
仮比重	1.7
間隙率	0.4
透水係数	$1.1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$
流速	0.035cm/min
温度	20°C

2. 実験方法

(1) 試験装置

カラム試験の実施条件を表-1にまとめて示す。試験土には、粒径150~850 μm の砂（表-2、図-1）に、ガソリン、A重油、及びタールを混合した模擬汚染土壌を使用した。内径3cmのアクリルパイプに長さ20cmに土壌を充填した土壌カラムに、空気の曝気により約8mg/Lにした溶存酸素(DO)と栄養塩等からなる水溶液を上向流で70日間連続通水した（図-2）。模擬汚染土における微生物の増殖を促す目的で、促進系に対して実験開始前に、カラムに数箇所の汚染サイトの地下水を注入した。通水させる液相の成分は、促進系では、 NH_4Cl :0.1g/L、 KH_2PO_4 :0.1g/L、微量の必須金属及びビタミン類を溶解しpH6.8としたもの、コントロールでは、 NaN_3 :1g/Lとした。

(2) 分析方法

通水中の土壌間隙中を移動する液相の状態を把握するために、カラムからの流出水を採取し、DO、油分資化性菌を定期的に測定した。油分資化性菌は、通水した培地成分にガソリンや重油を供給した条件における平板希釈

表-2 土壌元素組成

元素	wt% dry
Na	-
Mg	1.1
Al	9.8
Si	65.1
K	7.4
Ca	2.1
Ti	1.1
Mn	0.3
Fe	13.2

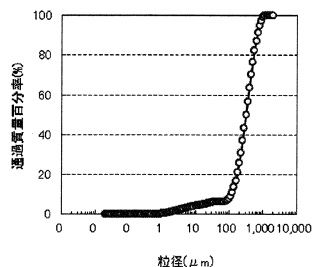


図-1 土壌の粒径分布

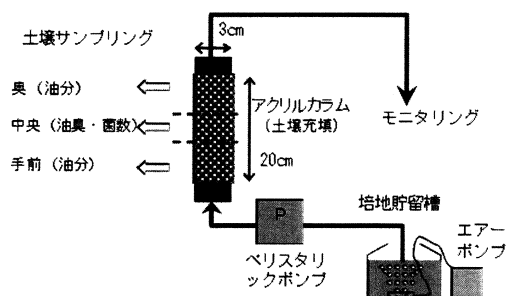


図-2 土壌カラム試験装置

して得られた試料に対して、嗅覚による0～5の6段階評価としての油臭強度（油汚染対策ガイドライン）、ガソリン汚染土ではTNRC1005、A重油及びタール汚染土ではEPA8015B（二硫化炭素抽出）に従った全石油系炭化水素（TPH）、及び、油分資化性菌数を測定した。

3. 結果および考察

8mg/Lで供給したDOは、約15日目以降に安定した。その消費傾向は、促進系が非汚染土壌やコントロールよりも大きかった（図-3）。DOの消費速度を油種別に比較すると、ガソリンとA重油では同程度であるものの、タールよりは大きい結果であった（図-4）。

一方、試験期間中の流出水の油分資化性菌数は、油種、微生物活性の促進の有無によらず顕著な差がなかった（図-5）。また、土壌の菌数も流出水の10倍程度高く同様の傾向であった（データ記載せず）。菌体量として

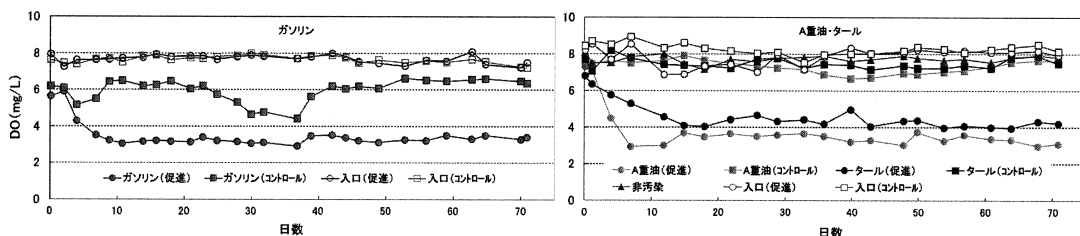


図-3 カラム通過前後のDOの推移

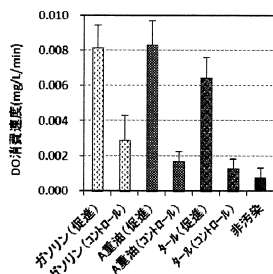


図-4 DOの消費速度
(15日以降のDOの平均値)

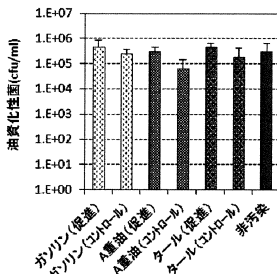


図-5 流出水の油資化性菌数
(1回/2週の測定値の平均値)

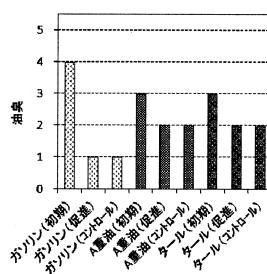


図-6 土壌の油臭の変化

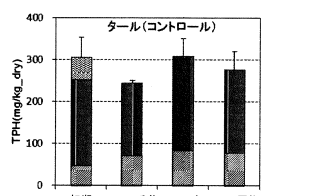
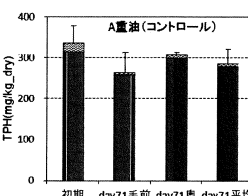
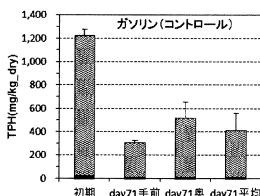
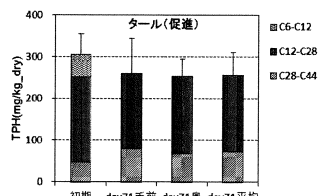
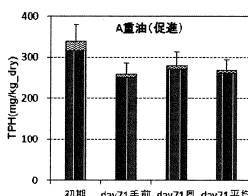
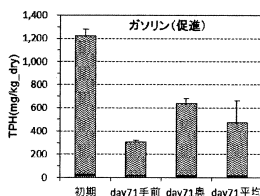


図-7 土壌のTPHの変化
(n = 2, エラーバーは標準偏差)

表-3 生分解作用における DO の利用効率と通水による洗浄作用の効率

実験条件	初期		好気性分解						コントロール				
	TPHs (mg/kg dry)				積算 DO 消費量 [Cons _{DO}] (mg)	積算 通水量 [WP _t] (L)	DO消費 一次反応 定数 [k _{DO}]	生分解のみ 油分低減量 /DO 係数 [a]	TPHs (mg/kg dry)		積算 通水量 [WP _t] (L)	積算 通水時間 [t] (day)	油分脱着 一次反応 定数 [b]
	day0 [C ₀]	day 71	全体 低減量	生分解 のみの 低減量 [C _b]					day 71 [C _s]	全体 低減量			
ガソリン	1,221	473	748	-59	611.1	10,617	0.0016	-0.023	414	806	10,178	70.88	0.015
A重油	340	268	73	18	47.2	10,934	0.0016	0.087	285	55	10,477	70.85	0.0025
タール	305	255	50	23	34.4	10,272	0.0011	0.153	278	28	10,531	70.85	0.0013

は同程度だが、コントロールでDO消費が低値に留まったのは、Na₂S₂O₃によって好気性微生物の活性が抑制されていたためと考えられる。

こうした通水処理に伴う、土壌における油分の低減効果として、まず、油臭の測定結果からは、初期から低減した様子が確認された（図-6）。その低減度は、A重油とタールでの2段階に対しガソリンで3段階と大きく、また、促進系とコントロールでの差は確認できなかった。

TPHの低減度では、ガソリンがA重油やタールよりも大きかった（図-7）。また、促進系とコントロールを比較すると、A重油やタールでは僅かに促進系の低減度が優れていたのに対し、ガソリンではそうした差が見いだせなかった。これは、ガソリンでは、土壌への低い吸着性によって、通水に伴う脱離（洗浄作用）が卓越するためと考えられる。この洗浄作用は、コントロールにおける手前のTPHが奥よりも低い現象で裏付けられる。また、それぞれの油種の画分の変化から、C₂₈₋₄₁はほとんど低減していないことが分かった。さらに、TPHのクロマトグラムからは、ガソリンの促進系でも、コントロールよりも低分子成分のピークが縮小していたことから、生分解性が示唆された（データ記載せず）。

さて、実験で得られたDOとTPH等のデータから、生分解と洗浄作用の効率を整理することにより、それぞれの作用による浄化速度の推定を試みた（表-3）。Bekinsほか¹⁾によると、生分解速度は、DO供給量が律速条件の場合にはDO供給量に依存する0次反応に従い、洗浄速度は通水量を支配する時間に依存する一次反応に従うとされていることから、下式によって処理時間に応じた油分濃度を計算した。

$$\begin{aligned}
 C_{total,t} &= C_s - C_b \\
 C_s &= C_0 \times \exp(-b \times t) \\
 C_b &= a \times Cons_{DO} \times WP_t
 \end{aligned}$$

ここで、 $C_{total,t}$: t日後の油分濃度
 C_s : 洗浄作用による t 日後の油分濃度
 C_b : 生分解による t 日後の油分低減量
 C_0 : 処理前の油分濃度
 a : DO 供給量に対する油分低減定数

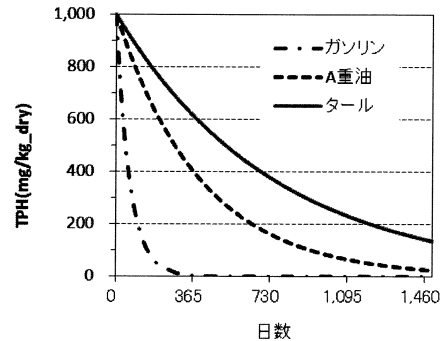


図-8 油分の低減挙動の推定

(DO=8mg/L を 0.035cm/min で連続供給)

b : 油分脱着一次反応定数
 $Cons_{DO,t}$: t 日間の積算 DO 消費量
 WP_t : t 日間の積算通水量

その結果、初期濃度が 1,000mg/kg の場合、8mg/L の DO を 0.035cm/min で連続的に供給する条件下で、図-8 に示すように油分は低減していくと推定される。

4. まとめ

模擬汚染土を対象としたカラム試験によって、好気性微生物による分解と通水による洗浄の効率を検討した。8mg/LのDOを0.035cm/minで供給した場合、洗浄効果の比率が生分解を上回り、また、低減度はガソリン>A重油>タールの順であった。TPHで1,000mg/kgの汚染土壌に同じ処理条件を適用した場合、初期濃度の1/100に低減させるには、ガソリンでは1年、A重油では4年、タールではそれ以上の期間が必要と考えられる。

参考文献

- 1) Barbara A. Bekins, Ean Warren, and E. Michael Godsy : A Comparison of Zero-Order, First-Order, and Monod Biotransformation Models, Ground Water, Vol. 36, No. 2, pp. 261-268, (1998).