

トルエンに汚染された地盤の バイオレメディエーションによる浄化効果を予測するカラム試験

東京工業大学	学生員	小松潤子
東京工業大学	フェロー会員	日下部治
鹿島建設技術研究所	正会員	河合達司 小澤一喜

1. はじめに

近年、揮発性有機化合物（VOC）や、油等による低濃度・広範囲な土壤汚染が世界中の工場跡地等で問題になっている。広範囲な汚染の浄化には従来の物理化学的処理による対応が困難なため、バイオレメディエーション技術の活用が期待されている。地盤のバイオレメディエーションの現場では、現場から採取した菌を培養してバッチ試験を行い、その結果から浄化予測に必要なパラメーターを算出し、それをモデル式に代入することによって現場での浄化の進行状況を予測する。しかしこれだけではこの予測の正確さを確認することが困難であるため、予測精度を確認する手段としてカラム試験が存在する。そこで、本報告では地盤のバイオレメディエーションを行うことができるカラム試験機を開発し、トルエンに汚染された地盤のバイオレメディエーションによる浄化効果の予測を行った。

なお、汚染物質として使用したトルエンは、近年地下水質の要監視項目として追加され、将来的に規制化される可能性のある物質である。地盤内でのトルエンの微生物分解に関する検討を行った事例は、筆者らが知る限り国内にはほとんど無く、将来トルエンが環境規制物質となった場合には本報告が有意義な情報を提供できるものと考えられる。

2. 実験概要

(1) バッチ試験

実際のベンゼン汚染サイトにおいてバイオレメディエーションにより浄化した土から種菌を採取し、20mL バイアル瓶に種菌、培地、トルエンを密封し、経時的にトルエン濃度と菌濃度を測定した。トルエン濃度の測定にはヘッドスペース-PID-GC 法を、菌濃度の測定には ATP 装置を用いた。その結果から、最大比増殖速度 $\mu_{\max}$ 、菌体収率 Y 、飽和係数 K 等の予測に必要なパラメーターを求めた。

(2) カラム試験

直径 5cm、高さ 10cm のアクリル製のカラムに乾燥した豊浦砂と菌を均質になるように入れ、そこに移流分散が顕著にならない程度の小さい流量で酸素を十分含んだ栄養塩溶液とトルエン水溶液を流し、30 分に保ってトルエンの土中での微生物分解を行った。そしてカラムの出口部分（写真 1）で溶液を採取後、トルエン濃度を PID-GC で測定し、さらに菌濃度を ATP 装置で測定した。

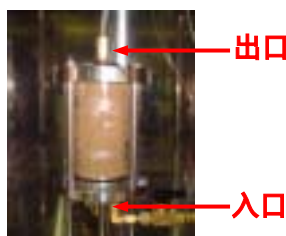


写真 1 本報告で作成したカラム試験機

表 1 バッチ試験結果

最大比増殖速度 $\mu_{\max}$ (mg/L/hour)	0.6
菌体収率 Y	0.59
トルエンの飽和係数 K_c (mg/L)	7
溶存酸素の飽和係数 K_o (mg/L)	2

3. 実験結果

バッチ試験により求められた各パラメーターの値を表 1 に示す。また、カラム試験における出口のトルエン濃度と菌濃度の変化の様子を図 1,2 にそれぞれ示す（図 1,2 中には 4. で得られる予測値を追加してある）。

キーワード バイオレメディエーション, トルエン, カラム試験, バッチ試験, PID-GC

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 緑ヶ丘 5 号館（創造プロジェクト館）2F TEL 03-5734-2798

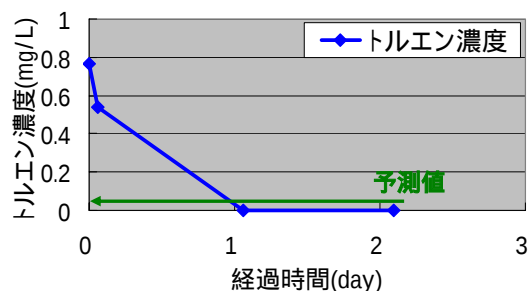


図1 トルエン濃度と経過時間の関係

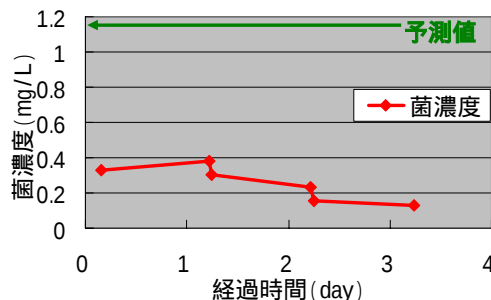


図2 菌濃度と経過時間の関係

4. 考察

ここで、カラム試験における菌濃度 $X(t)$ 、トルエン濃度 $C(t)$ 、酸素濃度 $O(t)$ の変化をモデル式により予測する。

Monod¹⁾ の式より $\frac{\partial X}{\partial t} = \mu_{\max} \frac{C(t)}{C(t) + K_C} \frac{O(t)}{O(t) + K_O} X(t)$... ここで、 t : 培養開始からの経過時間

また $\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\Delta C}{\Delta X} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} = -\frac{1}{Y} \cdot \frac{\partial X}{\partial t}$ であるから、 $\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{1}{Y} \mu_{\max} \frac{C(t)}{C(t) + K_C} \frac{O(t)}{O(t) + K_O} X(t)$...

次に、菌が酸素を消費してトルエン C_7H_8 を分解する反応式は $C_7H_8 + 9O_2 \rightarrow 7CO_2 + 4H_2O$...

式より、トルエンが 92g 分解されるにつき、酸素は 288g 消費されるため、

$$\frac{\partial O}{\partial t} = -\frac{288}{92} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta X} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} = -\frac{288}{92} \cdot \frac{1}{Y} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} \quad \therefore \frac{\partial O}{\partial t} = -\frac{288}{92} \frac{1}{Y} \mu_{\max} \frac{C(t)}{C(t) + K_C} \frac{O(t)}{O(t) + K_O} X(t) \dots$$

式に表1の値と表2の初期値を代入してカラム試験における $X(t)$ 、 $C(t)$ 、 $O(t)$ の変化の様子を予測すると図3のようになった。ただし、図3の横軸は、溶液がカラムの入口に入った時間を0としており、「経過時間」とは溶液がカラム内の砂の間隙を入口から出口に向かって流れた時間を表している。また、カラム出口の値の予測値をピンポイントで示せなかったのは、本実験では流量を一定に調節することが難しく、流量が $0.02 \sim 0.06(\text{cm}^3/\text{min})$ の範囲で変化し流量に幅が出てしまったためである。

表2 カラム試験の初期値

初期トルエン濃度 C_0	(mg/L)	1
初期酸素濃度 O_0	(mg/L)	8
初期菌濃度 X_0	(mg/L)	0.6

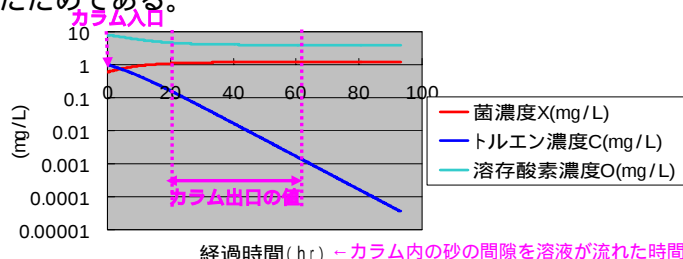


図3 カラム試験の予測結果

この予測結果と実際のカラム試験結果を比較する。トルエン濃度の予測値は図3より約 $0.1 \sim 0.001(\text{mg/L})$ であり、実験結果（図1）もほぼその値に収束している。しかし菌濃度の予測値は図3より約 $1.1 \sim 1.2(\text{mg/L})$ であるのに対し、実験結果（図2）は予測値よりだいぶ小さく、0.3 から $0.1(\text{mg/L})$ へと減っていく結果となった。この原因として以下の二つが考えられた。

- ・ 実際には菌が土粒子に吸着している可能性があり、式における菌濃度の増加の予測ではそれが考慮されていないため、図3の予測値は実際より大きく算出された。
- ・ 最初にカラムに入れた菌が必要量より多かったため、余分な菌が流れ出た。

5. 結論

本カラム試験機によって、地盤のトルエンのバイオレメディエーションにおける、トルエン濃度の減少に関しては、モデル式による予測がほぼ正確であることを確認することができた。しかし、菌濃度に関してはモデル式による予測の正確さは確認できなかったため、添加菌濃度などの実験条件の修正や、土粒子に吸着した菌量も評価する手法の検討が必要である。

参考文献 1) 田口久治他：微生物培養工学，共立出版，pp.62-64，p.67，1985。