

バイオオーギュメンテーションのための室内カラム実験に基づく微生物の移動特性

岐阜大学（正）佐藤 健・高見澤一裕・藤原俊明・（学）○青木 健

1. はじめに

地下水汚染に対する浄化技術として、汚染土壌や地下水中に生息する微生物の汚染物質分解能力を利用して環境修復を行うバイオレメディエーションが注目されている。この技術は低コスト・低濃度汚染に対して浄化効果が高く、エネルギー消費が少ないという点で注目を集めている。バイオレメディエーション（特にバイオオーギュメンテーション、以下 B.A.）の効果的実施には、微生物、栄養塩の土中での動態評価が重要であり、その解明が求められている。本研究は、バイオレメディエーション技術の向上に資する基礎データの蓄積ならびに、室内実験を用いて流れ場における微生物動態を明らかにすることを目的としている。ここでは、PCE ならびに TCE による汚染地下水を対象とした B.A.を想定し、これらの分解能力を持つ嫌気性微生物 *Clostridium bifermentans* DPH-1 株（以下 DPH-1 株）を用いた定流量カラム実験の結果を報告する。

2. 微生物の性質と菌体量の定量

DPH-1 株は PCE から TCE を経て cis-DCE まで分解する能力を持っている。菌体量の定量には Bradford 法を用い、タンパク質量を指標とし、吸光度より算出した。

3. DPH-1 株を用いた定流量カラム実験

3.1 実験ケース

土質試料としてセラミックビーズ (CB)、ガラスビーズ (GB)、礫 (G)、豊浦砂 (S, SF) を用い、表-1 に物性値を示す。また、各試料で行った実験条件を表-2 に示す。

3.2 実験方法

図-1 に示すカラム実験装置のカラムに各試料を充填し、蒸留水による飽和定常流を作る。流れの定常を確認した後、DPH-1 株培養液（以下、原液）に切り替え、カラム上端からの採液を行う。蒸留水による洗い出し過程の微生物動態を確認するため菌液採液後、再び蒸留水に切り替え洗い出し過程での採液を行う。実験ケース SF は菌液を流し続ける実験である。

4. 実験結果

4.1 流出破過曲線の比較

図-2 にダルシー流速一定 ($q=0.32\text{ cm/min}$) 条件下の CB, GB, G, S の実験結果を示す。図-2 から分かるように、同一ダルシー流速で流しても、土質によって DPH-1 株は異なった移動特性を示し、土質（粒径・間隙率・間隙径）の影響が考えられる。

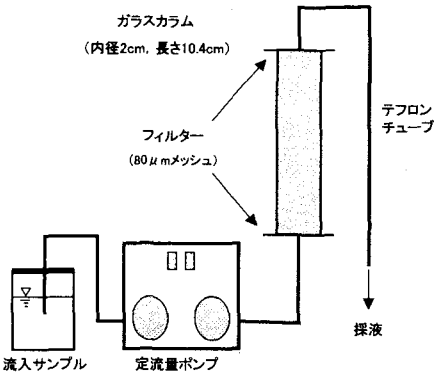


図-1 実験装置

表-1 土質の物性値

土質試料	土粒子密度 g/cm ³	平均粒径 cm	比表面積 ²⁾ m ² /g
豊浦砂	2.65	0.018	0.34
セラミックビーズ	3.40 (2.00) *1)	0.48	0.1
ガラスビーズ	2.5	0.48	0.0005
礫	2.58	1.04	0.0002

表-2 実験条件

試料	原液菌体濃度 C ₀ mg protein/l	流量 Q ml/min	ダルシー流速 q cm/min	飽和度 S _r %	体積含水率 θ	間隙平均実流速 v cm/min
CB-1	5.940	1.0	0.32	92.7	0.688	0.46
CB-2	7.211	1.0	0.32	98.1	0.675	0.47
CB-3	8.564	5.0	1.59	95.3	0.656	2.42
CB-4	8.954	10.0	3.18	92.7	0.638	4.99
CB-5	10.163	10.0	3.18	98.4	0.678	4.70
CB-6	3.090	10.0	3.18	100.0	0.702	4.53
GB-1	4.997	1.0	0.32	91.0	0.408	0.78
GB-2	8.646	1.0	0.32	96.9	0.434	0.73
GB-3	10.040	5.0	1.59	98.4	0.441	3.61
GB-4	9.651	10.0	3.18	100.0	0.456	6.98
G-1	6.329	1.0	0.32	100.0	0.505	0.63
G-2	2.762	5.0	1.59	100.0	0.450	3.54
G-3	4.074	5.0	1.59	100.0	0.485	3.28
G-4	1.778	10.0	3.18	100.0	0.535	5.95
S-1	3.552	0.1	0.03	100.0	0.410	0.08
S-2	35.742	0.1	0.03	100.0	0.414	0.08
S-3	15.801	1.0	0.32	85.7	0.355	0.90
S-4	20.394	1.0	0.32	95.5	0.396	0.80
S-5	8.667	5.0	1.59	99.1	0.411	3.88
S-6	18.651	5.0	1.59	91.8	0.380	4.19
S-7	21.214	5.0	1.59	97.1	0.402	3.96
S-8	17.503	10.0	3.18	99.2	0.411	7.74
SF-1	3.552	0.1	0.03	100	0.414	0.08
SF-2	9.599	0.1	0.03	100	0.414	0.08
SF-3	35.742	0.1	0.03	100	0.414	0.08
SF-4	4.978	3.5	1.11	100	0.414	2.69
SF-5	9.602	3.5	1.11	100	0.414	2.69
SF-6	28.806	3.5	1.11	100	0.414	2.69

4.2 NaCl と微生物との比較

砂カラム (S) において, NaCl と DPH-1 株に対する流出破過曲線の比較を図-3 に示す. NaCl が対称形になるのに対し DPH-1 株は対称形とならない. DPH-1 株は $25\mu\text{m}$ 程度の棒菌で, 間隙径の大きさとの関係が大切になり, 菌体の間隙内抑留と脱離について考慮する必要性が考えられる.

4.3 注入菌体量 C_0 の影響

図-4 に S カラムにおける初濃度の影響を示す. 図-4 から分かるように, 注入菌体濃度が高くなる程, カラム内抑留 (目づまり) が顕著となる傾向を示した. これは土中に注入する DPH-1 株の原液濃度が高くなると, 間隙狭小部で輸送が妨げられ, 間隙内堆積を引き起こしやすくなるためだと考えられる.

4.4 ダルシー流速 q の影響

図-5 に同一土質 (豊浦砂), 初発菌体濃度が近似している実験結果を選び, ダルシー流速の影響を示す. 図-5 から分かるように, ダルシー流速が増加する程, 定常域 (図-4 の 2 PV~8 PV における $C/C_0=1.0$ の漸近域) での相対濃度 C/C_0 は大きくなるのが分かった. これは, 間隙に堆積した菌体の剥離が流速の増加によって助長されるためだと考えられる.

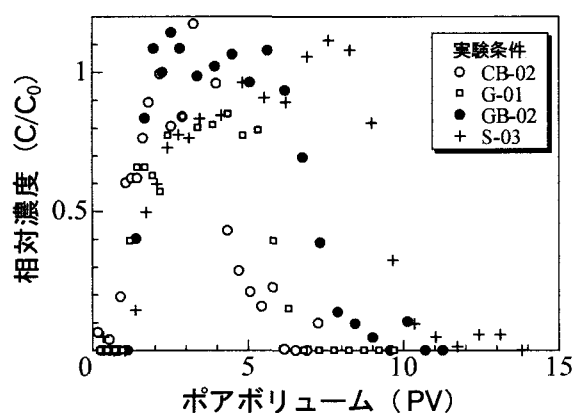


図-2 流出破過曲線

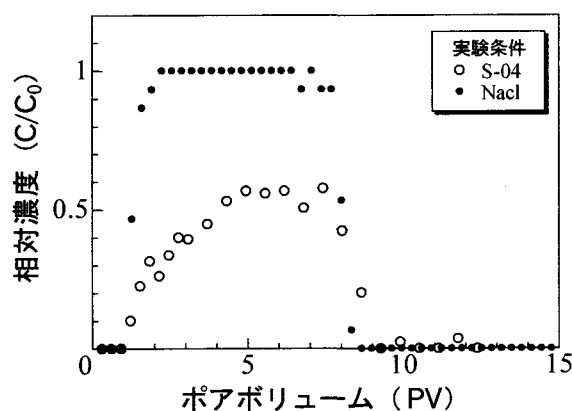


図-3 微生物と NaCl の破過曲線での比較

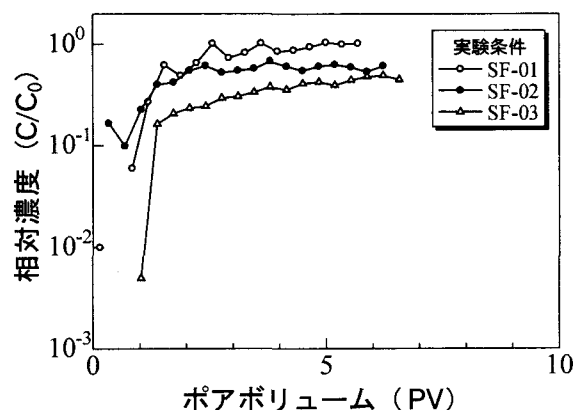


図-4 初発菌体濃度による破過曲線への影響

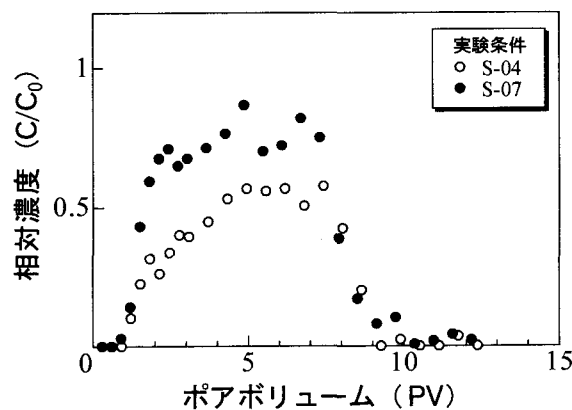


図-5 ダルシー流速による破過曲線への影響

5. まとめ

- ① 土質によって DPH-1 株は異なった移動特性を示し, 微生物は間隙内抑留・堆積により可溶性物質とは異なる特徴的な現象が観察された.
- ② 初発 DPH-1 株濃度が高くなると, カラム内での微生物抑留が顕著になる. ダルシー流速が増加するとカラム内に抑留された微生物の剥離が増長される.

参考文献

- 1) A.S.Humayra, Y.Kimura, K.Takamizawa and T.Sato: Transport of *Clostridium bifermentans* DPH-1 through The Laboratory Column Can Be Explained by Two-Region Model for Bioremediation, ENVIRONMENTALTECHNOLOGY, 2005 (in press)