

名古屋大学難処理人工物研究センター 正会員 井上 康
 大阪市立環境科学研究所 正会員 高倉 晃人
 名古屋大学大学院生命農学研究科 片山 新太

1. はじめに

飽和地下水帯の有機塩素系化合物等による汚染浄化技術として発展が期待される現位置バイオレメディエーションは、環境に直接適用される技術であり、そのために様々な要素の相互作用の理解とそれらのコントロールが非常に困難である。汚染場への分解菌の導入は菌を地下水流に乗せることにより行われ、さらに分解活性を高めるためには、第一に菌を土壌粒子表面に吸着・定着させなければならない。実際の適用を想定した場合、地下水流動下における菌の土粒子への吸着、剥離を含めた挙動を把握する必要がある。ここでは、その支配要因として地下水流速、注入する菌液密度、土粒子粒径に着目し、珪砂 - 飽和流動水モデルにおける分解微生物の吸着に関する基礎的かつ定性的特性を得ることを目的とした。

2. 実験

珪砂を飽和浸透流場としたカラムにフェノール分解菌を含む菌液を流入させ、珪砂層を通過した後の流出菌液をサンプリングして、その菌密度を測定し、注入菌液密度との差をとることにより、珪砂への菌の吸着量の経時変化を推定した。この実験装置(図1)は珪砂500gを詰めたカラム部(円柱部の長さ8cm、直径10cm、下端に目の大きさが10~250 μ mのろ過板を有する。)、ローラーポンプによる菌液注入部、流出液のサンプリング部から構成されている。

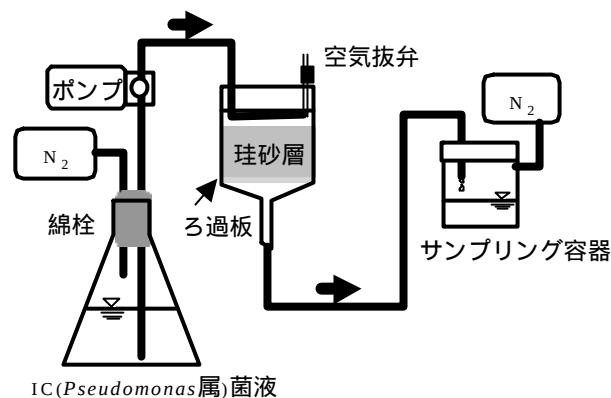


図1 カラム装置図

菌液は *Pseudomonas* 属 IC を 1.8% Nutrient Broth で希釈し

たものである。実験開始時においては、珪砂層を 1.8% Nutrient Broth 溶液で飽和状態としてあり、菌液の注入は流量調節が可能なローラーポンプによって連続面源としてカラム上部から行った。カラム下端からの流出液を珪砂層内の総間隙体積(pore volume)に当たる流出量ごとにサンプリングし、流出液中の菌密度を希釈平板法により測定した。

3. 結果および考察

・地下水流速による影響

用いた珪砂は 3 号珪砂(平均粒径 1.41mm)であり、流速の条件は日本の平均的地下水流速であるといわれている 10^{-3} cm/s をもとに 10^{-4} 、 10^{-3} 、 10^{-2} cm/s に設定した。図 2 に吸着した累積菌数の飽和菌数(珪砂への菌の吸着が一層で行われると仮定し、完全に表面を覆った場合の菌数)に対する比を示す。 10^{-4} cm/s では実験期間を通して継続的に吸着が進行しているのに対し 10^{-3} 、 10^{-2} cm/s では飽和度 20~30%程度までしか吸着が進行しておらず、しかもピークを達した後、吸着菌数が減少し、剥離していると考えられる。これは、一般的に菌の平均運動速度は 2.0×10^{-3} cm/s ~ 8.0×10^{-3} cm/s であると言われており、それに対して相当小さな速度である 10^{-4} cm/s では菌自体の運動により吸着する確率が高くなり、逆に大きな流速ではその確率が低く抑えられたためではないかと考えられる。

・初期菌密度による影響

3 号珪砂、流速 10^{-3} cm/s の条件下、異なる注入菌密度を設定し実験を行った。図 3 によると、明らかに、注入菌密度が高いほど飽和菌数が多くなっている。またピーク後の剥離による減少については、菌密度が高いほど減少の割合が高くなっている。本実験では菌の栄養源である Nutrient Broth 溶液の濃度を全て一定として与えてあるために、菌密

度が高いものではその消費量が多く、過渡的には吸着菌数が多くなっても栄養の消費が激しい高菌密度溶液ほど、栄養源の欠乏により一度吸着した菌が剥離する現象が起きたのではないかと考えられた。

・構成粒子の粒径および材質による影響

異なる平均粒径(0.57, 1.20, 1.41, 1.49, 2.94mm)の珪砂、およびガラスビーズ(2.00mm)を用いて実験を行った。粒径による比表面積の違いを考慮し、初期菌密度に対する単位表面積当たり吸着量の割合の経時変化を図4に示した。これによればおよそ粒径が小さくなるほど単位表面積あたりに吸着する菌数は多くなるように見えるが、0.57mmの珪砂については非常に少ない菌数となった。また逆に2.94mmの珪砂については、かなり多くの吸着量となった。粒径の大きさにより吸着特性は影響を受けていることが推察できるが、その傾向は粒径のみに依存する単純な関係ではなく、層構造や珪砂の表面形状の効果、粒径分布の影響が強いのではないかと考えられる。

・剥離過程

菌による汚染物質の分解過程においては一定量の菌が土壌内に残留していることが必要とされる。そこで、土壌表面の菌数の減少をもたらす剥離現象の把握は重要な因子となる。本実験では吸着が平衡に達したと考えられる7.1PV以降は無菌水の注入に切り替えることで剥離を進め、その特性の把握を行った。珪砂層内の経時的な累積吸着菌数の変化を示した図5によると、4~7.1PVにおいて吸着菌数が平衡に保たれ、無菌水への切り替え以降、剥離により約40%まで累積菌数が減少するが、残存吸着量がほぼ平衡に保たれている。これは無菌水中にもごく低濃度ながら炭素源が存在し、それが残存菌の活動を支えることが可能であり、また逆に炭素源の少ない環境では菌の疎水性が高まり、一度吸着した菌は剥離しにくくなると言われており、ある程度の吸着量が残存できると考えられる。

4 まとめ

地下水飽和土壌中での吸着特性を定性的に調べるため、影響を及ぼすと考えられる複数の環境要因をパラメータとした実験的研究を行い、それらと分解菌の吸着特性に関して以下のような結果を得た。

- 1) およそ 10^{-4} cm/s のオーダーの流速を境とし、流速が小さい場合には吸着が進行し続け、吸着量が増加したが、流速が大きい場合には、吸着量は飽和度 20~30%までに留まった。
- 2) 注入菌密度が高いほど吸着量が多くなるが、その密度に関わらず吸着量は剥離によって次第に減少する傾向を示した。
- 3) 吸着量のピークを迎えた後、無菌水の注入により吸着している菌が剥離していくことが確認されたが、ある一定量の菌は残存する。

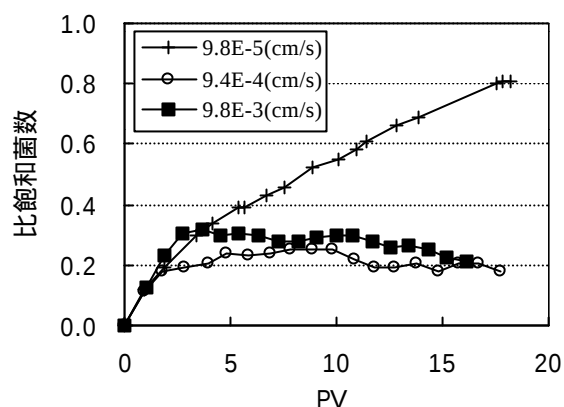


図2 比飽和菌数の変化(流速による影響)

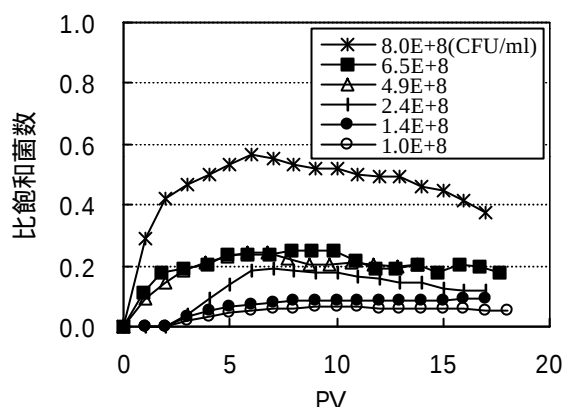


図3 比飽和菌数の変化(初期菌密度)

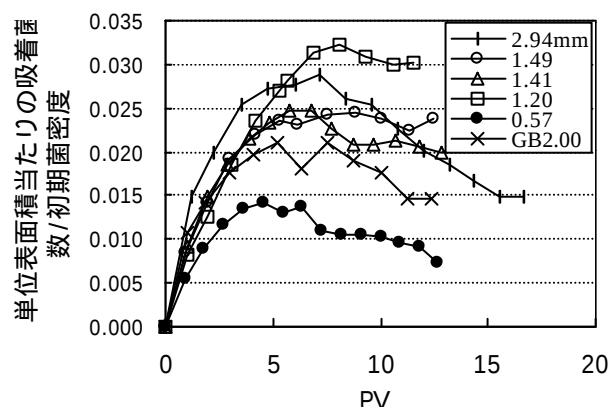


図4 単位表面積当たりの吸着菌数

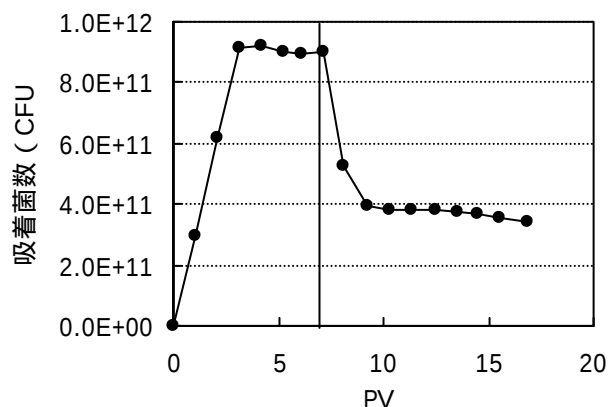


図5 珪砂への吸着菌数の変化(剥離過程)