

長岡技術科学大学 ○土肥 剛

同上 小松俊哉

同上 桃井清至

1 はじめに

近年、発ガン性の疑いのあるテトラクロロエチレン (PCE)、トリクロロエチレン (TCE) 等の塩化エチレン類による地下水・土壌汚染が問題となっている。これら塩化エチレン類は、これまで微生物分解され難いとされてきたが、最近ではこれらを分解できる微生物が発見され、生物プロセスを用いた浄化法 (バイオレメディエーション) が注目されている。塩化エチレン類の嫌氣的微生物分解は還元的脱塩素反応によって進行し、それらは最終的に無害なエチレン (ETY)・エタン (ETA) に転換する。本研究では、実際の PCE 汚染土壌を用いた実験を行い、PCE を高速度で無害化する嫌気性集積培養菌の投入効果を調べ、バイオレメディエーションの適用可能性を検討した。

2 実験試料と方法

2.1 実験試料

供試土壌として PCE 含有量約 5 mg/kg、90 mg/kg の砂質土壌と PCE 含有量 80 mg/kg の細土壌の 3 種類を用いた。含有量の測定方法は参考文献¹⁾に基づいた。また含水比、強熱減量は砂質土壌が 7~8%、1.2~1.4%、細土壌が 19.9%、17.3%であった。微生物源として、25℃で培養液の 20%の fill & draw を行なって得られた嫌気性集積培養菌²⁾を用いた。その集積系は、エタノール (100 mgCOD/l) をエレクトロンドナーとして、PCE (20 mg/l) を 7 日間程度で完全にエチレンまで転換する能力を持ち、菌体濃度は約 50 mgVSS/l あった。

2.2 実験方法

(1) 土壌分解実験

PCE 含有量約 90 mg/kg の砂質土壌と PCE 含有量 80 mg/kg の細土壌の 2 種類を用いて、土壌に集積培養菌を添加した条件 (分解菌添加系) と土壌のみを添加した条件 (分解菌無添加系) の 2 系列を各々設定した。図 1 に示した容量 67 ml のバイアル瓶に、湿重で 2 g の土壌と 50 ml の集積培養菌混合液 (または無機培地) を添加し、窒素ガスバージ後、エレクトロンドナーとしてエタノールを 100 mgCOD/l 添加し、25℃で静置した。

(2) 土壌カラム実験

PCE 含有量約 5 mg/kg の砂質土壌を用いて、土壌に集積培養菌を添加した条件 (分解菌添加系)、土壌のみの条件 (分解菌無添加系) の 2 系列を設定した。

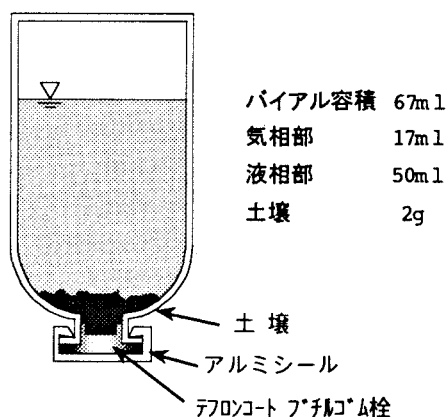


図1 実験用バイアル

図2に示したガラスカラムに湿重で 300g の土壌を詰め、集積培養菌 (12.5mgVSS) と無機培地を混合したもの (または無機培地のみ) 100ml とエレクトロドナーとしてエタノールを 8mgCOD 添加し、25℃で静置した。その後、週 1 回程度の間隔でカラム上部のサンプリング口から無機培地液 40ml (2000mm:年間降水量に相当) とエタノール 8mgCOD を添加し、下部のサンプリング口からそれと同量の水の引き抜きを行った。

3 実験結果および考察

3. 1 土壌分解実験

砂質土壌を用いた場合の PCE の転換結果を図3に、細土壌を用いた場合の結果を図4に示す (液相部濃度)。砂質土壌を用いた場合、土壌のみが存在する分解菌無添加系では、PCE の転換は全く進行しなかった。これに対して、土壌に分解菌を添加した分解菌添加系では実験初期から PCE が転換されて TCE、cis-1,2-ジクロロエチレン (DCE)、塩化ビニル (VC) が検出され、さらに数日目以降には殆ど ETY しか検出されなかった。細土壌を用いた場合も、分解菌添加系では同様に ETY への転換が進行し、また ETA も若干生成した。一方、分解菌無添加系においても DCE までの転換は進行したことから、細土壌中には DCE までの分解微生物が含まれていたと考えられる。なお、いずれの場合も、分解菌添加系では 10 日目頃までにメタン生成がほぼ完了したが、分解菌無添加系ではメタン生成が起きなかった。

以上から、砂質土壌の場合は 21 日目までに約 58mg/kg、細土壌の場合は 31 日目までに約 38mg/kg の PCE が無害化されたことになり、本集積培養菌は汚染土壌の浄化に有効であることがわかった。しかし、砂質土壌を用いた実験で、21 日目にバイアルを開封して土壌中の含有量を測定した結果、PCE、TCE、DCE の含有量が各々 34、0.4、0.1 (mg/kg) であり、水中に溶出しない状態では転換が殆ど進行しなかった。

砂質土壌での実験と細土壌での実験では、実験

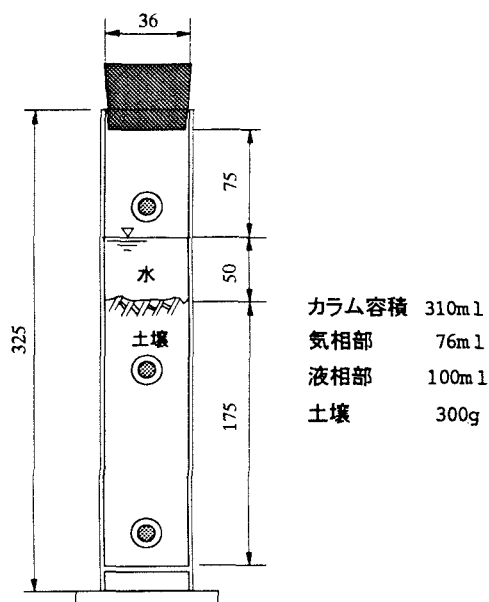


図2 実験用カラム

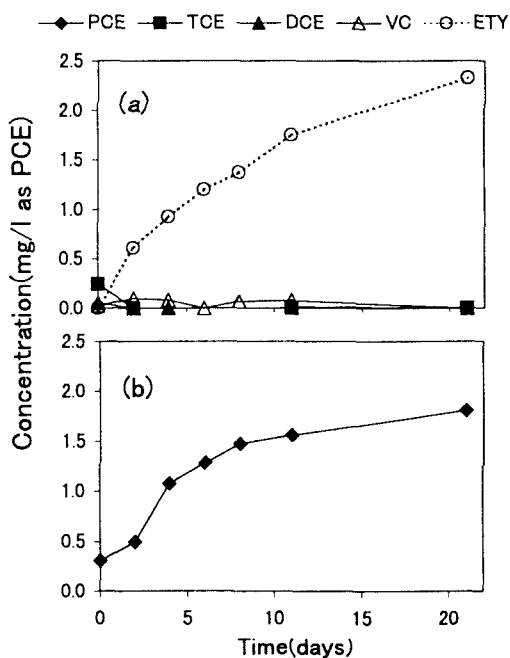


図3 砂質土壌中でのPCE転換
(a)分解菌添加系 (b)分解菌無添加系

条件（土壌量、液量、分解菌量、エレクトロドナー量）が同じであり、PCE 含有量にも大差がないにもかかわらず、ETY、ETA の生成速度が大きく異なったのは、PCE の溶出速度の差が原因と考えられる。従って、汚染土壌の浄化効率は、汚染物質の土壌からの溶出挙動に大きく支配されることが示唆される。

3. 2 土壌カラム実験

カラム下部から定期的に引き抜いた水中の塩化エチレン類の濃度変化を図5に示す。土壌のみの分解菌無添加系では、実験開始約50日経過後もPCEが大部分を占めた。それに対し分解菌添加系では、実験開始21日目以降からDCEが多く検出されるようになり、42日目には溶出してくる塩化エチレン類の約80%を占めるまでになったことから、本集積培養菌を土壌中に添加することによって転換が促進されることが確認された。

4 まとめ

バイアルを用いた土壌分解実験、ガラスカラムを用いた土壌カラム実験とも、分解菌を添加した系では、添加しなかった系に比べPCEの転換が促進されることが確認され、本集積培養菌は汚染土壌の浄化に有効であることがわかった。しかし、土壌カラム実験でのPCE転換速度は、固液比（=水の重量/土壌の重量）が大きい土壌分解実験の場合と比較すると非常に遅く、PCEが無害なETY、ETAに転換されるまでには非常に長期間が必要になると予想されること、また土壌分解実験では土壌の違いによって溶出速度が異なったことから、今後、土壌の種類や固液比が溶出挙動に及ぼす影響等について検討する必要があると考えられる。

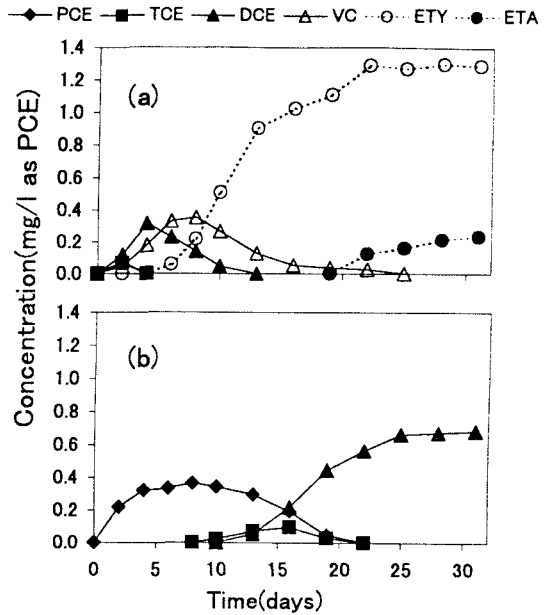


図4 細土壌中でのPCE転換
(a)分解菌添加系 (b)分解菌無添加系

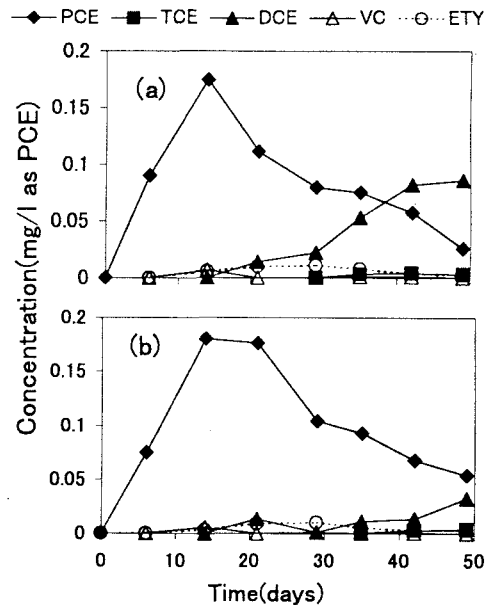


図5 浸出水中での塩化エチレン類の濃度変化
(a)分解菌添加系 (b)分解菌無添加系

<参考文献>

- 1) 浦野紘平：土壌・地下水汚染調査・測定方法、水環境学会誌 Vol.17、81-85(1994)
- 2) 島崎他：土木学会第50回年講、2B、1179-1180(1995)