

動電学的手法による重金属汚染土壌の浄化プロセスについて

Remediation Process of Metal Contaminated Soil by Electrokinetic Method

岩本 智史 (Satoshi IWAMOTO)

Abstract : In this study, the effect of soil pH on the remediation efficiency of heavy metals by electrokinetic method, and the application of this method with ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) to the soil that exhibit high buffer capacity are investigated from both aspects of experiments and numerical analyses.

1. はじめに

土壌浄化技術は、大きく原位置浄化と掘削除去に分けられるが、その手法には様々なものがある。原位置浄化技術の一つに動電学的土壌浄化技術がある。この浄化法は有害物質を含んだ土壌中に適切な間隔で電極を配置し、直流電流を流すことによってイオン移動や電気浸透といった界面動電現象を誘起することにより、汚染物質の濃縮・除去を行う方法である。本手法は掘削・除去による方法と比較して、現場従事者への曝露の危険性が少ない、処理ゾーン外への汚染物質の拡散がほとんどない、等の利点を持っている。また、この手法は難透水性地盤にも適用できるという利点を有するが、事実上の課題として挙げられるのが、緩衝能の高い地盤への適用である。緩衝能の高い地盤においては、除去の対象となる重金属の土壌からの脱着、間隙水への溶解が小さい。その結果、イオン移動や電気浸透流による物質移動が困難となり、浄化効率の悪化が指摘されている。

そこで本研究では、動電学的手法による重金属の浄化効率に与える土壌 pH の影響、及びキレート剤であるエチレンジアミン四酢酸(EDTA)を用いた、緩衝能の高い地盤への本手法の適用性を、実験と数値解析の両面から定量的に検討した。

2. 室内実験及び数値解析

本研究で行った室内実験は、長さ 20cm の円筒槽に重金属としてカドミウムを収着させたカオリナイトを充填し、陰極槽、陽極槽に設置する。陰極槽、陽極槽にはグラファイト電極を設置し、直流電源を用いて、一定の電圧(20V)を加え通電を行った。実験中は電流密度、電位分布の測定を行った。通電終了後、円筒槽を等間隔に分割し、土壌 pH、土壌カドミウム濃度を測定した。土壌カドミウム濃度の測定には原子吸光分析を用いた。

また、土壌中の物質移動は、水の電気分解反応を考慮した境界条件の下で、次式を有限差分法を用いて数値計算を行った。

$$R_{dj} \frac{\partial nC_j}{\partial t} = D_j^* \frac{\partial^2 C_j}{\partial x^2} - \left\{ - (u_j^* + k_e) \frac{\partial E}{\partial x} - k_h \frac{\partial h}{\partial x} \right\} \frac{\partial C_j}{\partial x}$$

ここで、 R_{dj} は遅延係数、 C_j は物質濃度、 D_j^* は化学種 j の多孔質内有効拡散係数、 u_j^* は多孔質内有効イオン移動度、 E は電位差、 k_e は電気浸透係数、 k_h は透水係数、 x は直線距離を示す。

3. 実験及び数値解析の結果

土壌試料全域が強く酸性化(pH<4)される場合、1 週間の通電で、土壌試料全域からカドミウムを完全に除去できることがわかった (Fig.1(a))。

一方、土壌試料全域が中性付近を示す場合、2 週間の通電を行っても、カドミウムは土壌試料中央から陰極よりに水酸化物として滞留する結果となった。

(Fig1. (b))。また、陰極槽、陽極槽からはカドミウムが検出されず、全てのカドミウムが土壌内に滞留することがわかった。また、本実験結果に対して数値解析を行った結果、カドミウムが水酸化物として沈殿を形成する場合、水酸化カドミウムの溶解度積は、理想的な溶液中で求められた値よりも数桁小さな値をとることがわかった。

以上の検討結果から、土壌全領域を強く酸性化することにより、対象領域からカドミウムを除去することがわかった。しかし、土壌を強く酸性化すると、土壌マトリクスの溶解による土壌粒子の改変等の問題が生じる。また、緩衝能の高い地盤では本来土壌 pH が高く、本手法を適用することは困難である。

そこで、EDTA による錯形成反応を利用することにより、土壌 pH が中性領域を示す場合にも本手法を効果的に適用できる方法を検討した。EDTA を含む陰極液を用いた場合、EDTA による錯形成反応により、中性領域においてもカドミウムを対象土壌から除去することが可能であった。この場合、初期土壌 pH の違いにより、浄化効率に大きな差が出る結果となった (Fig1. (c) : 初期土壌 pH 約 4, (d) : 初期土壌 pH 約 6)。また、本実験結果に対して数値解析を行った結果、カドミウムの移動には電気浸透流、カドミウムイオンのイオン移動の影響を無視できることがわかった。

4. おわりに

- (1)カドミウムは土壌を強く酸性化($\text{pH} < 4$)することによって、土壌から完全に除去することができる。
- (2)土壌 pH が中性領域にある場合でも、カドミウムの浄化に EDTA が有効であることがわかった。また、土壌 pH が高くなるほど土壌粒子表面の負電荷が大きくなり、負イオンである EDTA が静電的反発力により土壌に接近し難く、土壌に収着されたカドミウムとの錯形成反応速度が遅くなることがわかった。
- (3)実験結果と数値解析結果の両面から検討した結果、土壌内での電気浸透流やイオン移動の影響、遅延係数、溶解度積の値を明確にすることができ、重金属の移動現象を定量的に表すことが可能となった。

指導教官

青木謙治教授、菅野強助教授、新苗正和助手

参考文献

- [1] 住友海上リスク総合研究所 編、地層汚染診断・修復簡易化研究会 (SCSC) 著：土壌・地下水汚染と企業リスク ビジネスマンのための土壌・地下水汚染百科 化学工業日報社

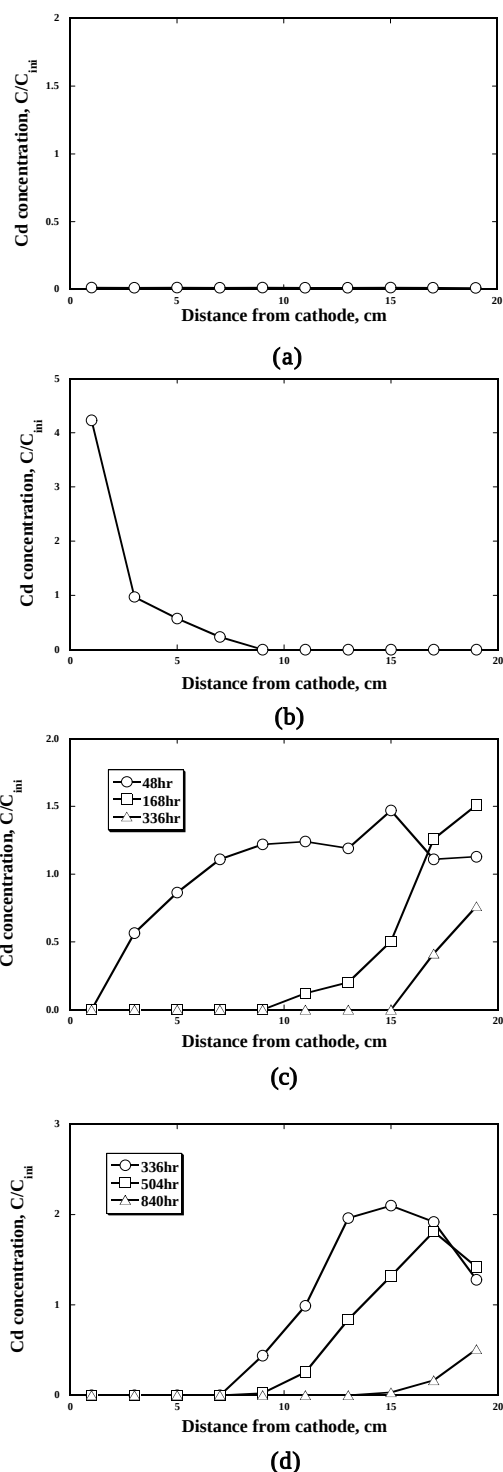


Fig.1 Measured distributions of Cd concentration