

B-22 電気化学的処理による重金属汚染土壌修復技術の開発 ―有機酸の影響―

静岡大学大学院理工学研究科システム工学専攻

○金井慎次

同上

瀬野忠愛

1. はじめに

平成 15 年 2 月に土壌汚染対策法が施行され、新たな土壌修復技術のニーズが高まっている。重金属汚染土壌修復技術の一つに電気化学的処理法がある。このプロセスの概略を図 1 に示す。汚染土壌中に適当な間隔（パイロットスケールの実験では約 0.7m）で電極を設置し、電場による電気泳動および電気浸透といった界面動電現象を利用して汚染物質の濃縮・除去を行う方法である。この技術は軟弱地盤を強化する方法として土木工学分野で古くから研究されてきたが、土壌汚染物質除去の原位置処理法として再び脚光を浴びるようになってきた。その主な理由として、

- ① 原位置処理が可能ため環境上問題となる汚染物質の輸送が避けられ、コスト効率が良い
- ② 現在主流のポンプ吸い上げ処理に比べ、砂層のみならず粘土層・シルト層にも適用可能である
- ③ 化学処理・バイオ処理といった既存の環境改善技術との併用が可能であるなどが挙げられる

この処理法による除去過程は三段階に分けられる。陽極での水の電気分解の結果生じる Acid Front（強酸性領域）の陰極方向への進行に伴い、土壌に吸着している重金属イオンが水素イオンとの交換反応により、間隙流体中に溶出してくる。次に、溶出した重金属イオンはその電荷に応じて陰極もしくは陽極方向へ電気泳動により移動し、両端井戸にて効率的に除去される。一般的に重金属は酸性になると土壌表面から脱着する性質と電位差による輸送を組み合わせた巧妙な除去技術である。しかしながら、重金属の種類や土壌の種類により物理・化学的性質が異なり、効率的な除去のための操作条件はまだ未解明である。この研究では、電気化学的土壌修復実験の給水液に有機酸を使用した場合について、これまで得られた知見を報告する。

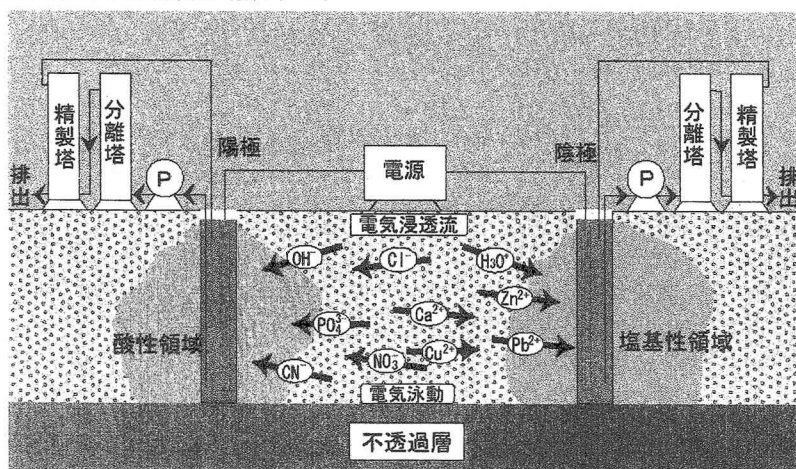


図 1. 電気化学的処理プロセスの概略図

2. 実験方法

模擬土壌としてカオリン（はくとう土：和光）、汚染重金属として鉛を使用して、図2に示す小型実験装置を用いて除去実験を行った。実験操作条件と除去率を表1にまとめた。土壌槽内各点のpH、電位、温度、電気浸透による水の排出量、排水中の鉛濃度などを時間ごとに測定した。実験終了後、土壌を垂直方向に3分割、水平方向に5分割の合計15分割してpH1の硝酸水を加え、攪拌・静置後上澄み液の鉛濃度を原子吸光分析計にて測定した。

実験1では16日間通電し、土壌中の鉛の除去率は97%であった。ある程度の期間通電すればカオリン粘土から鉛が除去できることが分かったので、以後の実験期間は1週間として実験を行った。実験では、様々な給水液を使用し、効率的な除去を可能にする給水液の検討を行った。

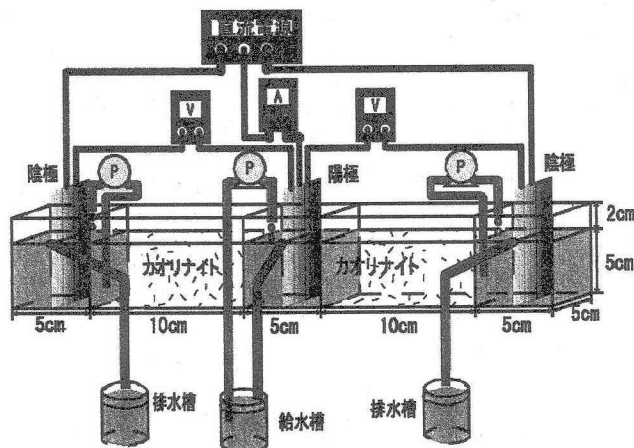


図2. 小型実験装置

3. 実験結果と考察

(1) 土壌中のpH分布

給水液にpH2硝酸（実験2）を用いた場合の土壌中pH分布を図3に示す。通電開始直後から陽極液ではpH2付近まで低下していく。一方、陰極液では少し時間を置いてpH12付近まで上昇していく。これは水の電解により陽極で生成する水素イオンと陰極で生成する水酸化物イオンのためである。電気泳動・電気浸透により水素イオンは陰極方向に浸透していく。水酸化物イオンは逆に陽極方向に浸透していく。土壌表面に吸着している金属イオンはAcid Frontの進行により間隙水中に溶出していく。溶出した金属イオンは陰極方向に移動し、中性または塩基性領域で水酸化物として沈殿する。

表1. 実験条件と実験結果

No	1	2	3	4	5	6	7
電流[mA]	10	10	10	10	10	10	10
通電時間[h]	384	168	168	168	168	168	168
初期土壌 pH[-]	3.0	4.8	4.8	4.4	5.0	4.9	4.5
初期鉛濃度 [mg/g-乾土]	0.36	0.49	0.47	0.45	0.56	0.45	0.47
給水液	硝酸 pH4	硝酸 pH2	シュウ酸 pH2	クエン酸 pH2	酢酸 pH2	蒸留水 pH7	水道水 pH7
平均除去率	97%	56%	52%	64%	76%	61%	65%
電気浸透排水量[ml/h]	-	1.52	1.90	0.60	1.25	2.77	2.88

これは、給水液が蒸留水・水道水の場合も同様である。

次に、酢酸を給水液として用いた場合の土壌中 pH 分布を示す(図 4)。土壌中 pH は全域で 2~5 の範囲で一定になっている。

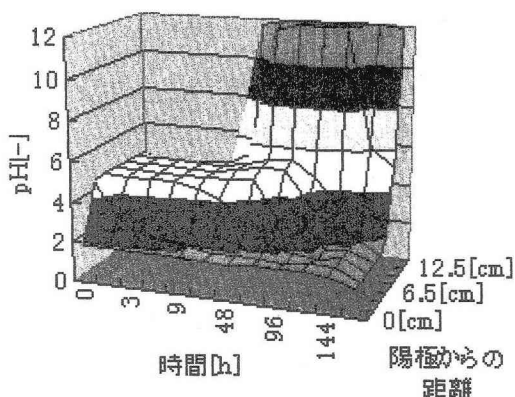


図 3. 土壌中 pH 変化 (実験 2) 硝酸 pH2

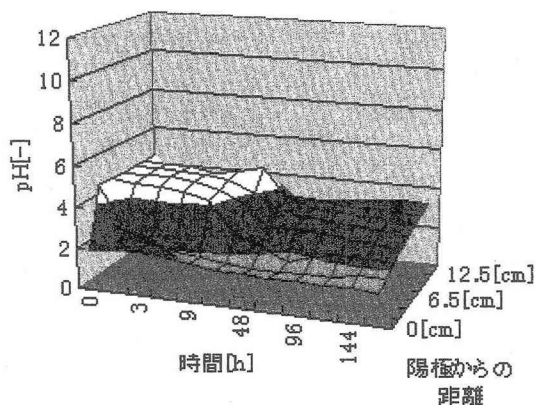


図 4. 土壌中 pH 変化 (実験 5) 酢酸 pH2

(2) 土壌中の鉛濃度分布

実験 2 (pH2 硝酸)の通電処理後の土壌内鉛濃度分布を図 5 に示す。これより土壌表面に吸着していた鉛が界面動電現象により陰極側へ移動している様子が分かる。通電期間が 7 日と短いため、陽極付近では鉛イオン濃度は減少しているが、陰極近傍の中性又はアルカリ領域では水酸化鉛となって土壌中に蓄積している。実験 5 (酢酸)の鉛濃度分布を図 6 に示す。図 6 では、図 5 に見られたような陰極近傍での鉛の集積はなくなっており、平均除去率も 76% となった。

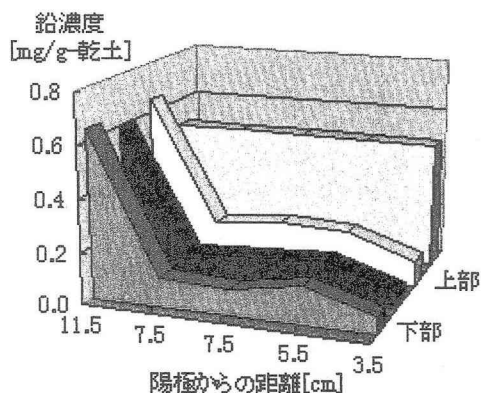


図 5. 鉛濃度分布 (実験 2) 硝酸 pH2

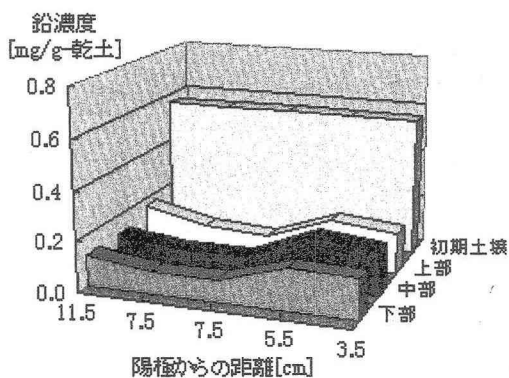


図 6. 鉛濃度分布 (実験 5) 酢酸 pH2

4. おわりに

これらの実験より、有機酸 (酢酸・クエン酸) は、無機酸 (硝酸) より鉛を除去する効果があることを確認できた。特に酢酸は通電期間が 7 日間にも関わらず 76% という高い除去率を得た。また、蒸留水・水道水でも高い除去率を得られることがわかった。

次回の実験は今回の結果を踏まえ、ベースの給水液に水道水を使用し、陰極側の pH コントロール・陰極側土壌への有機酸 (クエン酸) のシャワーにより水酸化物の生成を抑え、除去率の向上をはかる予定である。