

京都大学大学院 学生員 ○辻本恭平
京都大学大学院 フェロー 嘉門雅史
京都大学大学院 学生員 李 明昊
京都大学大学院 正会員 乾 徹

1. はじめに

重金属汚染土の浄化技術のひとつに、電気泳動・電気浸透といった動電現象を利用して地盤中の化学物質を移動、濃縮、除去する電気化学的浄化工法があり、この10年程度にわたり欧米を中心に数多くの研究がなされてきた¹⁾。電気化学的浄化工法の概要を図-1に示す。汚染地盤中に電流が流れると、間隙水中の荷電粒子が電気泳動により移動し、電極周辺に濃縮することができる。同時に電圧を印加することで発生する電気浸透の効果により、間隙中の汚染水を電極付近に移動させることが可能になる。これらの原理を利用して、陰極付近に重金属イオンを次第に濃縮させ、陰極付近の水を揚水することによって、地盤内の重金属を水とともに土中から除去する。本研究では、電気化学的浄化工法における様々な要因が重金属の挙動に与える影響を明らかにするための基礎的な検討として、室内モデル試験装置を作成し、電気泳動と電気浸透のみを考慮した砂質土中の重金属の電気化学的移動特性を実験的に検討した。

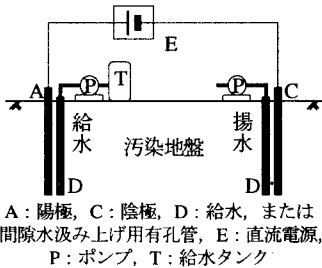


図-1 電気化学的浄化工法のモデル

2. 室内試験

2.1 実験方法 室内実験においては図-2に示す実験装置を用いた。土材料として豊浦砂を用いた。豊浦砂を用いることにより、粘性土と比較して粒子表面におけるイオン交換等の化学反応による影響が抑えられると考えられる。試験装置内および砂は0.02 mol/l塩化ナトリウム水溶液で飽和させた。さらに、給水用水槽と給水側チャンバー内には所定の濃度の亜鉛(Zn)を添加した。その後所定の電圧を印加させ、一定時間毎に、①陽・陰極間の電流、②陰極を基準とした8箇所の電圧測定用ポートおよび陽極間の電位差、③排水バルブからの排水量を測定した。本実験では排水バルブを開いた条件で実験を行った。試料中の電位分布が定常状態になった時点で電圧印加を停止し、試料中の間隙水のpHおよびZn濃度の分布を計測した。

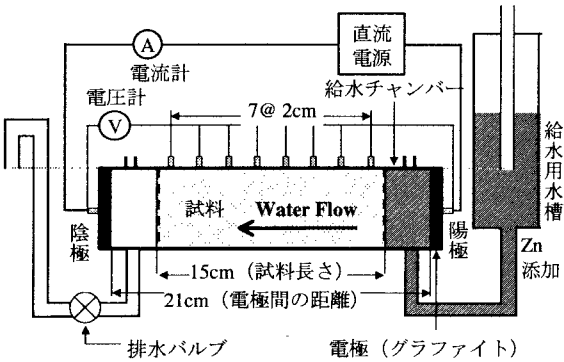


図-2 実験装置

表-1 実験条件の比較

実験名	印加電圧	供給水中の亜鉛添加
ケース1	2 V/cm	100 ppm
ケース2	1 V/cm	100 ppm
ケース3	2 V/cm	50 ppm

2.2 実験条件 給水用水槽および給水側チャンバー内の添加液中の亜鉛濃度、印加電圧は実験ケース毎に表-1に示す通り変化させ、これらの要因が供試体内における電気浸透などの動電現象に与える影響を検討した。

3. 実験結果と考察

全ケースにおける、電流の経時変化を図-3に示す。ケース1とケース3は、電流値はピークを過ぎると急

激な低下をはじめ、徐々に緩勾配となった。電流の上昇は電気分解に伴い発生したイオンの電気泳動に起因する試料全体の抵抗低下によるものであり、その後の電流の低下は中性化に起因する試料中の局所的な抵抗上昇によるものである。中性化とは、電極付近から拡大した酸性域とアルカリ域の接触により、局所的にイオン数が少ない領域が発生する現象のことである。ケース1における電圧分布の経時変化を図-4に示す。電圧印加直後は、線形に近似できることから、試料中の初期抵抗値はほぼ一定であることがわかる。通電開始後、徐々に電圧勾配分布は形状を変え始め、両極に近い部分から勾配が緩やかになっていく。電位勾配の急になる部分が抵抗値が高い中性化部分である。時間の経過に伴い中性化部分の電位勾配は急になる。図-3においてケース2の電流値の増加割合がケース1と比較して小さく、最大値までの時間が長い理由としては、印加電圧が低いため電極付近での水の電気分解によるイオン発生量が少ないこと、さらには電場中におけるイオン移動速度が遅いことの両方の影響を受けていると考えられる。

ICPS 分析により実験終了時の試料中の亜鉛濃度を測定すると、全ケースで陽極側から中性化域付近まで高濃度であり、中性化部分より先では、非常に小さい値であることが確認された²⁾。砂質土中では中性化が発生すると重金属の移動性が大幅に減少することがわかった。

各実験ケースにおける排水量の経時変化を図-5に示す。一般的に、間隙水中のイオンの移動速度は電位勾配に影響される。計測した排水量は図-4に示した電位勾配が線形に近い間はほぼ一定の値を示すが、中性化に伴う電位勾配の不均一化が始まると排水速度も低下し始める。また、亜鉛添加濃度が小さい場合や亜鉛を添加しない場合には排水量が大きく減少したことから²⁾、本実験において電気浸透が発生するのは間隙中の亜鉛イオンが水和イオンを伴って移動することによる影響が大きく、土粒子表面の陽イオンは寄与しないと考えられる。したがって、排水速度は亜鉛イオンが高濃度で存在する陽極付近における亜鉛イオンの移動速度の変化に影響されていると考えられる。これは、陰極付近における電位勾配は緩やかになると、排水量が小さくなっていることから推測される。実験条件の違いが排水量に及ぼす影響の評価は今後の検討課題である。

4. おわりに

動電現象を利用した重金属汚染土の浄化においては、測定した電圧分布から中性化によって局所的な抵抗増加を招くことが確認された。このことから、亜鉛がイオンで存在する酸性領域の制御が電気化学的浄化にとって重要であると考えられる。また、電気浸透現象における水流は、印加電圧強度、およびに間隙水中・供給水中におけるイオン濃度に影響されるところが大きいと考えられる。今後は間隙水中のイオン濃度・印加電圧といったパラメーターが電気浸透の各現象に及ぼす影響を明確にすることが望まれる。

【参考文献】

- 1) 例えば、Y.B. Acar and A.N. Alshawabkeh (1993): Principles of electrokinetic remediation、 Environ. Science and Technology、 Vol. 27、 pp. 2638-2647.
- 2) 辻本恭平 (2002): 亜鉛汚染砂質土の電気化学的営力による浄化効果について、京都大学卒業論文。

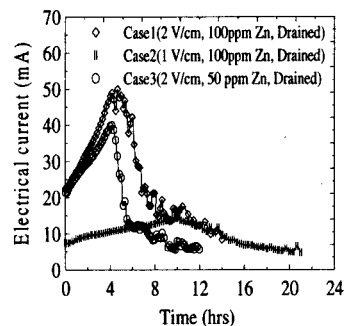


図-3 電流の経時変化

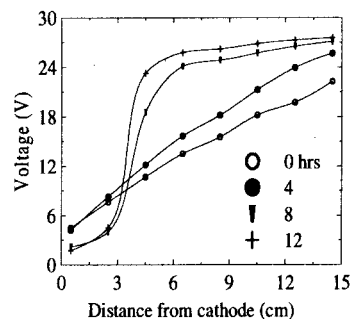


図-4 ケース1；電位勾配の経時変化

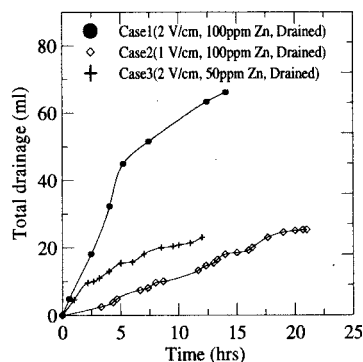


図-5 排水量の経時変化