

B-46 電場を利用した重金属汚染土壌修復プロセスの開発 ー基礎実験と移流分散モデルー

静岡大学理工学研究科システム工学専攻 ○鈴木 寛

伊藤浩樹

丹羽貴史

瀬野忠愛

大阪大学大学院基礎工学研究科化学系専攻 平田雄志

芝 定孝

1. はじめに

汚染物質排出規制、環境浄化技術の向上などの環境対策は、大気や地表水の環境保全に一定の貢献をしてきた。しかしながらその一方で対策がより困難な土壌への排出量が増加し、土壌汚染問題が顕在化してきた。こうした事態に対して、土壌中に適当な間隔で電極を設置し、電場による電気泳動、電気浸透等の界面動電現象を利用して汚染物質の除去を行う原位置界面動電土壌処理法が注目されている。ここでは重金属イオンの土壌への吸着実験と、重金属イオンの電気泳動、電気浸透、濃度勾配による拡散、土壌粒子への吸着などを考慮した基本的な移流分散モデルについて報告する。実験に長期間要すること、また、その地域に与える影響が大きく現地で直接予備実験を行うことが難しいことなどから、電場土壌中の汚染物質の移流分散シミュレーションによる最適操作条件の検討が必要である。なお、カラム実験結果についてはポスター展示する。

2. 重金属イオンの土壌吸着実験

2. 1 実験方法

重金属イオンに鉛、銅を使用し擬似土壌であるカオリナイトへの吸着実験を行った。硝酸で数回洗浄し、他のイオンの影響がないように前処理したカオリナイト 1g に pH を 1~7 まで変化した各種濃度の硝酸鉛溶液 50ml を加え、25℃の恒温槽で 6 時間攪拌し遠心分離した後、上澄み液を採取し原子吸光分析器で濃度を測定した。また pH についても測定した。実験前後の上澄み鉛濃度変化より吸着量を算出した。

2. 2 実験結果

pH の影響による吸着量の変化の 1 例を図 1 に示す。また、鉛の平衡吸着量は以下の Langmuir

$$S = K_1 C / (1 + K_2 C)$$

吸着式で表すことができる。

図 2 より K_1 、 K_2 の値を決定した。

ここで、 $S(\text{mg/kg})$:吸着量、 $C(\text{mol/l})$:間隙流体中の鉛濃度である。

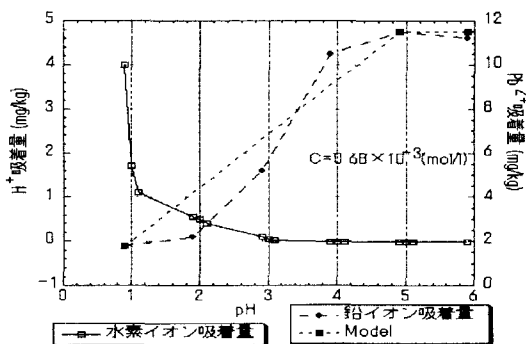


図 1 pH による吸着量の変化

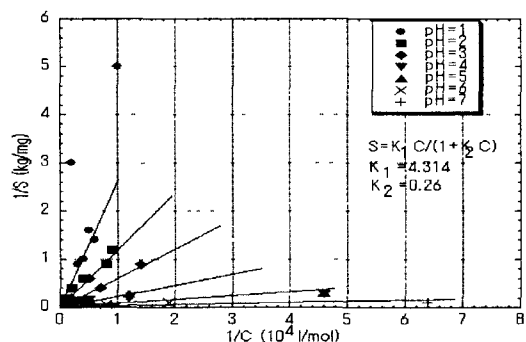


図 2 Langmuir 型プロット

3. 重金属イオンの移流分散シミュレーション

3. 1 モデルの基礎式

$$J_w = -K_w \nabla(h) - K_e \nabla(E) \quad (1)$$

$$J_m = \theta D_m^* \nabla(-C_m) + C_m \theta \left(\frac{|Z_m|}{Z_m} u_m^* + K_e \right) \nabla(-E) + \theta C_m K_h \nabla(-h) \quad (2)$$

$$I = F \theta \sum_{m=1}^N Z_m D_m^* \nabla(-C_m) + \sigma^* \nabla(-E) \quad (3)$$

$$\sigma^* = F \theta \sum_{m=1}^N (Z_m C_m u_m^*) \quad (4)$$

水頭差と電位勾配による流体・物質の Flux、電流密度は以下の式で表される。

ここで、 J_w は間隙水流束、 K_h は透水係数、 h は全水頭、 K_e は電気透水係数、 E は電位、 θ は体積含水率、 J_m は化学種 m の flux、 D_m^* は多孔質内有効拡散係数、 C_m は化学種 m の濃度、 Z_m は化学種 m の電荷、 u_m^* は多孔質内有効イオン移動度、 F はファラデー定数、 σ^* は流体の平均伝導度を表す。

(1)式の右辺第一項は水頭差による多孔質内浸透流れを、第二項は電気浸透流れを表している。(2)式の右辺第一項は濃度勾配による拡散を、第二項は電気泳動・電気浸透を、第三項は水頭差による移動を表している。(3)式は全てのイオンの流れを電流として評価し、電気的中性が系内で成立していると仮定することにより導かれる。物質収支式は以下ようになる。

$$\frac{\partial(\theta C_m)}{\partial t} = -\nabla(J_m) + \sum_i R_i^m \quad (5)$$

上式の右辺第二項は土壌への吸・脱着反応、錯体形成などの液相反応・沈殿溶解反応を表す。土中の電位分布、濃度分布は (3)、(5) 式を適切な境界条件の下で連立させて解くことで求められる。

3. 2 シミュレーション結果

初期土壌中鉛濃度は $7[\text{mol}/\text{m}^3]$ で一様、電極間距離 $0.7[\text{m}]$ 、定電流操作で電流密度 $1[\text{A}/\text{m}^2]$ という条件の下、シミュレーションを行った。

図3に土壌中 pH 分布の経時変化を示す。電極反応により陽極で水素イオン、陰極で水酸化物イオンが生成する。このため陽極付近の pH は低下し、陰極付近の pH は上昇する。高 pH 領域で水酸化鉛が生成する。

図4に鉛イオン濃度分布の経時変化を示す。電気泳動・浸透により陽極側の鉛イオンが陰極側に集まって行く様子がわかる。

図5に定電流操作条件下での消費電力量と鉛除去率の関係を示す。電流密度が小さい方が同じ除去率に到達するのに少ない電力量ですむが、長期間要する。

図6に陰極液の鉛濃度 = 0 とした場合と、陰極液 pH を 4 に固定した場合と、特に処理を行わなかった場合での鉛除去率を示す。陰極での鉛除去を行った場合とそうしなかった場合を比べると、

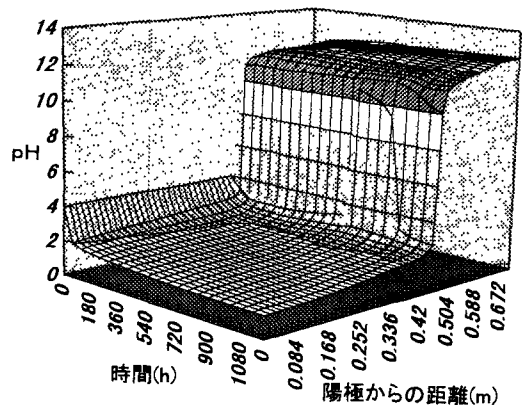


図3 pHの経時変化

800時間以降に除去率に差が生じる。これは陰極液中の高濃度の鉛が効率的除去の妨げになっているためである。高pH領域では水酸化鉛が生成し、鉛の陰極槽への流出の妨げになるので、陰極液のpHコントロールが効率的除去のためには不可欠である。

図7にAcarら¹⁾の実験結果と我々のシミュレーションとの比較を示す。実験結果とシミュレーション結果は概ね一致している。

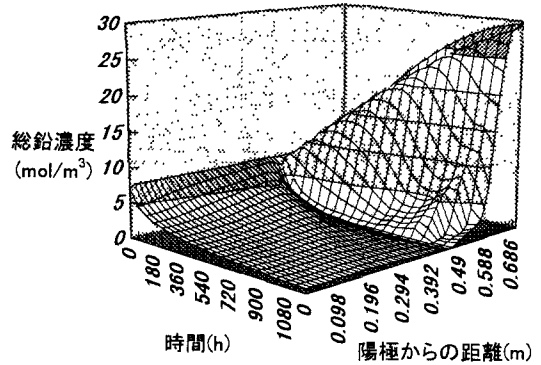


図4 トータル鉛濃度の経時変化

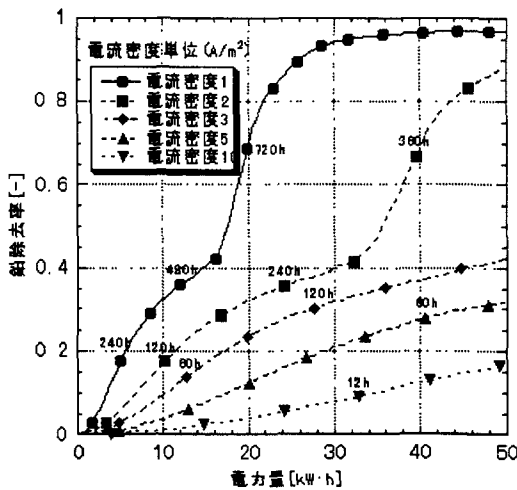


図5 除去率に及ぼす電流密度の影響

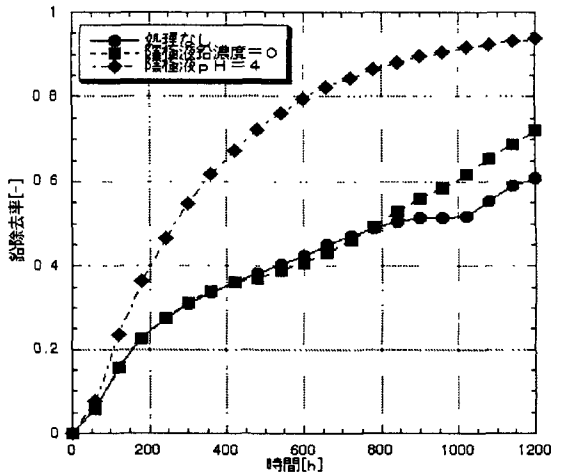


図6 陰極処理による鉛除去率の変化

4. 結論

定電流操作条件下での電場土壌中のイオンの移流分散過程と鉛の化学反応、吸脱着反応を含んだモデルを作成し、鉛の除去過程をシミュレーションした。鉛の土壌への吸着に関しては Langmuir 吸着式を使用した。

電流密度が小さいと鉛の除去速度は小さくなるが、消費電力量に対する除去効率向上する。

陰極付近のpHが上昇し、水酸化鉛が生成することによって鉛の効率的除去の妨げになるので、これを押さえる操作が必要である。

土中の鉛濃度分布に関して Acar の行った実験値と概ね一致した。これにより本モデルによる鉛処理予測が可能であると思われる。

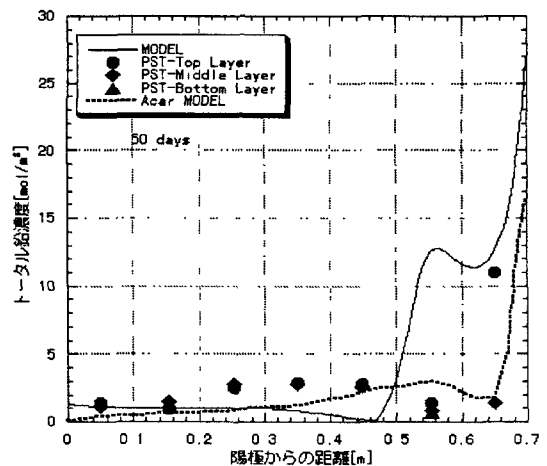


図7 実験値と計算値の比較

参考文献 1) Acar,T.B.etal,J.ofGeotech,Engrg,ASCE,122,173(1996)