

## 動電学的手法によるカドミウム汚染土壌の重金属除去

Removal of heavy metals by electrokinetic treatment of cadmium contaminated lowland soil

○久保田富次郎\* 人見忠良\* 三重野俊彦\*\* 塩濱圭治\*\*\* 濱田康治\* 白谷栄作\*

○ KUBOTA Tomijiro\*, HITOMI Tadayoshi\*, MIENO Toshihiko\*\*, SHIOHAMA Keiji\*\*\*,  
HAMADA Koji\* and SHIRATANI Eisaku\*

1. はじめに 重金属土壌を対象とした動電学的浄化手法 (Electrokinetic Remediation Method, 以下 EK 法) は, 土壌に直流電圧を印加することにより, 主に電気泳動や電気浸透流による汚染物質の移動・除去に期待するもので 1980 年代より研究が本格化し, 1987 年には工場跡地の汚染サイトに適用されている (新苗ら, 2003). しかし, これまでのところ国内では工場跡地等における現地実証試験が行われているものの (塩濱ら, 2005), 技術の本格的な普及には至っていない. 本研究では, これまで検討事例が少ない実際の重金属汚染土壌を対象として EK 法を適用し, 重金属の移動特性を調べることを目的とする.

### 2. 材料と方法

(1) EK 法について EK 法は土壌中に通電することで荷電を帯びたイオンやコロイドが電流によって生じる電気泳動, 正に帯電した物質の移動に伴って誘発される電気浸透流などを利用する土壌および地下水汚染の浄化技術である.

電気泳動と電気浸透流による間隙水中の溶質  $i$  のフラックス  $J_i$  は場の電位勾配を駆動力とする次式で表される (和田ら, 2002).

$$J_i = -u_i z_i F C_i \nabla E + \frac{\varepsilon \xi}{\eta} C_i \nabla E \dots\dots (1)$$

ここで, 式中の  $u_i$  は電気泳動移動度,  $z_i$  はイオンの価数,  $F$  はファラデー定数,  $C_i$  は濃度,  $\varepsilon$  は水の誘電率,  $\eta$  は間隙水の粘性係数,  $\xi$  は土粒子のゼータ電位,  $\nabla E$  は電位勾配である. (1) 式の第一項は電気泳動を表し, 第二項は電気浸透流を表す. また, 両電極槽では直流電圧の印加により水の電気分解が生じそれにより生成した  $H^+$  と  $OH^-$  は電極槽と土壌の界面から浸入し土壌の酸性化(陽極)とアルカリ性化(陰極側)を進める.

(2) 実験 本研究で用いた試験装置を Fig.1 に示す. 供試土壌は, Case-1 では国内の実際の重金属汚染農地土壌試料を用い, Case-2 の試料には上記土壌に添加剤として  $FeCl_3$  を加えたものを用いた. 実験は  $20^\circ C$  の恒温室内において 33 日間の通電を行った. 初期の電極間の印加電圧は約 30V とし, 通電状況を確認しながら定電流条件で通電した. ポンプによる両電解液からの流出水は, pH と電気伝導度を測定するとともに, 重金属を誘導結合プラズマ質量分

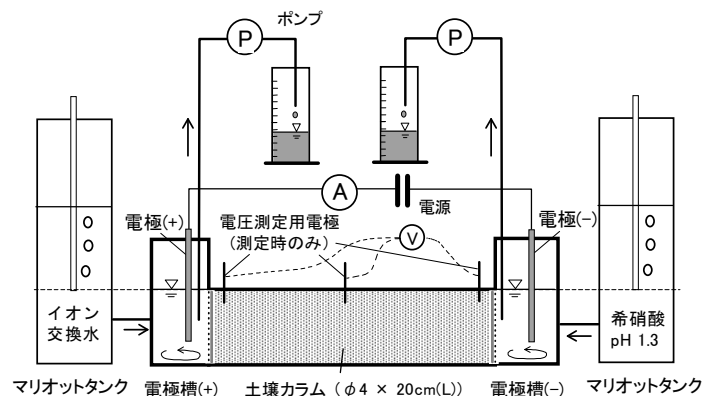


Fig.1 Schematic diagram of laboratory setup

\* 農研機構 農村工学研究所 \*\* (株)島津製作所 \*\*\* (株)浅沼組

キーワード: 動電学的浄化法, 重金属汚染土壌, 電気泳動, 電気浸透流

析計で分析した。

通電試験後、電極槽の残水を分析に供するとともに土壌カラムを長さ方向に4cm毎に切断し、土壌は50℃で減圧乾燥ののち分析に供した。試料ならびに試験後の試料の土壌分析項目をTable 2に示す。

### 3. 結果と考察

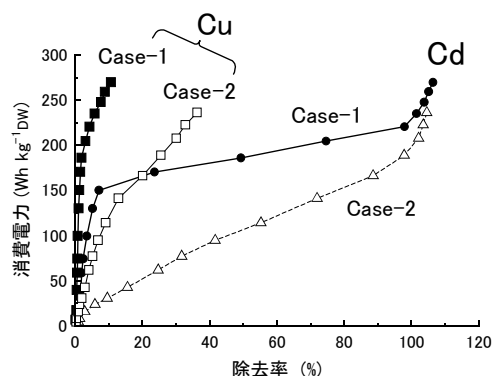
Fig.2にCdとCuの除去率と消費電力の関係を示す。Case-2のFeCl<sub>3</sub>の添加によってより少ない消費電力で重金属の除去が進むことがわかる。

試験前後の土壌特性と重金属濃度をTable 3およびTable 4に示す。試験後の土壌は、0.1M HCl抽出量と比較するとCdについてCase-1で97%、Case-2で99%が除去され、その他にもCase-1ではMn, Zn, Case-2では、Mn, Zn, Pb, Cuで顕著な減少が確認された。一方、Case-1のFe, Pb, Cu, Cr, Niでは増加した。Case-2では多量のFeを添加しているため比較は困難である。Case-1では特にFeの抽出量の増加が際だっているが、これはEK法による土壌の酸性化に伴う溶出の影響であろう。

また、全炭素(T-C)は処理の前後で大差なく、全窒素(T-N)は陰極からの硝酸塩の浸透に伴う上昇がみられた。交換性陽イオンは、Case-1でCaが供試土壌に対して99%、Mgで56%、Kで79%が失われた。さらに可給態リンも減少した。以上のように、EK法により農地土壌中のCdやZnなどの除去は可能であったが、交換性陽イオンや可給態リンなどの洗脱・流亡は顕著で、土壌の化学性に影響を与えることがわかった。謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金(24380134)を受けたものである。

**Table 2** Items and methods for soil analysis

| 分析項目                               | 分析法/分析機器                      |
|------------------------------------|-------------------------------|
| pH(H <sub>2</sub> O, KCl)          | pHメータ                         |
| Cd, Zn, Cu, Fe, Cr, Mn, Ni, As, Pb | 0.1M HCl抽出(1h 水平振とう) / ICP-MS |
|                                    | 1M HCl抽出(1h 水平振とう) / ICP-MS   |
| TN, TC                             | Sumigraph NC-220              |
| CEC・交換性塩基                          | Schollenberger法               |
| 可給態リン酸                             | Truog法                        |



**Fig.2** Relationship between removal ratio and electricity consumption

**Table 3** Soil properties

|     | pH (H <sub>2</sub> O) | pH (KCl) | CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) | 1 M NH <sub>4</sub> Ac extracted cation (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) |      |      | T-C (%) | T-N (%) | Truog-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g DW) |
|-----|-----------------------|----------|---|---|------|------|---------|---------|--|
|     |                       |          |   | Ca  | Mg   | K    |         |         |  |
| 試料  | 6.49                  | 5.11     | 23.4                                      | 12.4  | 4.73 | 1.23 | 1.87    | 0.12    | 32.8   |
| 試験後 | Case-1*               | —        | —   | 0.17  | 2.09 | 0.26 | 1.82    | 0.23    | 24.3   |
|     | Case-2*               | —        | —   | 0.17  | 1.18 | 0.24 | 1.84    | 0.21    | 12.9   |

**Table 4** Heavy metal content of soils before and after test by soil extraction methods (mg·kg<sup>-1</sup> DW)

| 試料  | 抽出法        | Fe   | Mn  | Cd   | Zn  | Pb  | Cu   | As  | Cr  | Ni   |
|-----|------------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|
|     |            |      |     |      |     |     |      |     |     |      |
| 試料  | 0.1M HCl抽出 | 455  | 233 | 13.2 | 183 | 21  | 6.2  | 0.2 | 0.3 | 2.7  |
|     | 1M HCl抽出   | 6700 | 533 | 15.7 | 353 | 149 | 18.8 | 4.8 | 3.8 | 37.7 |
| 試験後 | Case-1     | 2330 | 42  | 0.4  | 55  | 62  | 7.4  | 0.5 | 1.3 | 9.8  |
|     | Case-2     | 628  | 7   | 0.1  | 8.4 | 11  | 0.9  | 0.1 | 0.2 | 2.6  |

引用文献 1)新苗ら(2003), 2)塩濱ら(2005), 3)和田ら(2002)