

京都大学工学部 学生員 橋田伸一
 京都大学工学部 正 員 井上頼輝
 京都大学工学部 正 員 森澤直輔

1. はじめに

現在、我が国では有害物質を含む多量の廃棄物が生じており、その処理処分は重大な問題になっている。中でも種々の重金属廃棄物、多種多様な化学系廃棄物、放射性廃棄物のような有害物質の処理処分は重要である。このような物質を陸上で埋立処分する場合には、有害物質の下方への浸透、あるいは水平方向への輸送に比して、覆土を通しての上方への移動が考慮されることは少なかった。しかし、1975年の東京都六価クロム鉍汚染事件及び1978年の米国 Love Canal 汚染事件等により、埋立処分された廃棄物中の有害物質が鉛直上方へ移動するという現象の存在が明らかになった。図-1は東京都六価クロム鉍汚染事件における土壤中実測クロム濃度分布を示している。特にボーリング地点C-1-6においては、厚さ3メートルのクロム鉍汚染層に1メートルの覆土を施したにもかかわらず、地表面で50ppm以上という高いクロム濃度を示しており、クロムの鉛直上方移動及びその結果としての地表面への蓄積を示している。

同現象の原因は毛管現象による「すいあげ」であろうと推定されているが、そのメカニズムは解明されておらず、このような物質の移動を予測する理論も確立されていない。また同現象を実験室において再現した例も稀である。

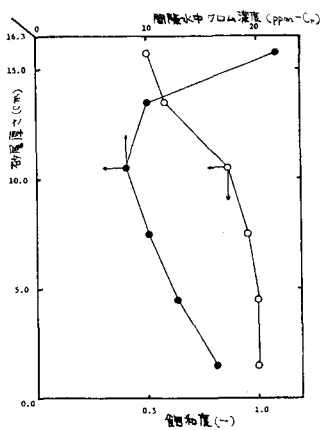
図-1 東京都六価クロム鉍汚染事件における土壤中六価クロム濃度分布

本研究においては、通気層における有害物質の鉛直上方移動を六価クロムを用いて実験的に検討した。すなわち、野外で発生した六価クロムの鉛直上方移動を実験室内で再現しその機構を明らかにするとともに、次段階の作業である同現象の予測モデルの作製及び計算機シミュレーションを実行するための必要な基礎的データを導くことを目的とした。

2. 実験

本研究においては、主実験として六価クロムが鉛直上方に移動することを不飽和砂カラムを用いて検証し、補助実験として水分分散係数 $D(\theta)$ 、不飽和透水係数 $k(\theta)$ を測定してその回帰式を求め、またクロムの土壌と水との間の分配係数についての検討を行った。本稿では主として主実験について述べる。

主実験では、砂層厚さ16cm、60cm、120cmの砂カラム（以下16cmカラム、60cmカラム、120cmカラムと呼ぶ）を数本用意し、同カラムの下部を $K_2Cr_2O_7$ 溶液（10.4ppm- Cr ）に浸漬し一定時間放置した後カラムを分解し、砂層厚さ3cm毎に砂の湿潤重量と乾燥重量とを測定して含水率を求めた後、乾燥砂と純水とともに振盪して砂から溶出した六価クロムの濃度を測定し、もとの砂層間隙水中での六価クロム



(a) 16cmカラム, 35日経過後

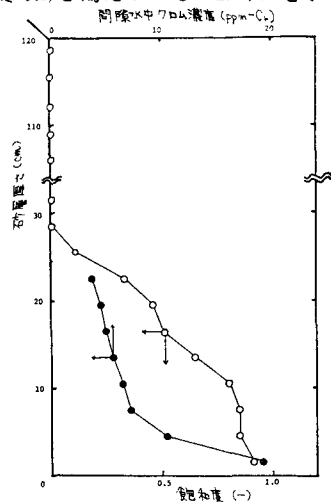


図-2 カラム内鉛直水分布及び鉛直クロム分布

(b) 120cmカラム, 42日経過後

濃度を算出した。図-2にカラム中の水分及びワロムの鉛直分布の例を示す。

3. 考察

3.1 土壌水分分布について

16 cmカラムにおいては、実験継続時間の異なる各カラムにおいて水分分布はほぼ同じであるといえる。すなわち、実験開始後1日で既に水分分布はほぼ定常状態に達しており、その後時間の経過とともに、砂層表面の含水率が増加していくものと考えられる。次に60 cmカラム、120 cmカラムにおいても、16 cmカラムとほぼ同様の水分分布が認められた。しかし、いずれのカラムの水分分布をみても土壌水分フロント (water front) は浸漬液面から30 cm以下の位置に停滞しており、その分布形状は不飽和透水係数測定のために土柱法試験によって得た水分分布と殆んど相似である (図-2 (b), 図-3 参照)。土柱法試験においては蒸発防止のためにカラム上端にキャップをかぶせたこと、及び主実験継続期間中の水分蒸発量が16 mm/monthとかなり小さな値であることから、本実験で用いた砂カラムにおいては蒸発による水分移動よりも毛管圧による水分上昇現象が卓越しているものと考えられる。

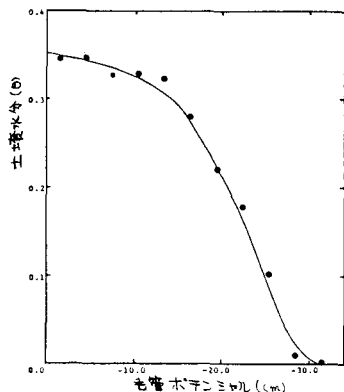


図-3 土壌水分と毛管ポテンシャルの関係

3.2 ワロムの鉛直分布について

用いた全てのカラムにおいて、カラム内の水分の鉛直分布とワロムの鉛直分布とはほぼ相似な状態にあり、予備実験で決定したワロムの分配係数が非常に小さなこと ($k_d = 0.05 \text{ ml/g}$) によく適合している。すなわち砂層間隙水中に水溶液の状態で存在する六価ワロムは、殆んど砂粒子に吸着することなく水分とともに移動しているものと考えられる。

16 cmカラムにおいては、時間の経過とともに、明らかに砂層表面部においてワロム濃度の増加が認められるが、各カラム毎に変動が大きく定量的な議論を行なうことは困難である (図-4 参照)。しかし、カラム中間部においては間隙水中ワロム濃度はほぼ一定値をとり、砂層表面部においては水分とともに上昇し水分の蒸発によって残留蓄積したワロムにより間隙水中ワロム濃度が増加し、一段下の砂層にもその影響が及んで間隙水中ワロム濃度が漸増する傾向が認められる。

以上、不飽和カラム「すいあげ」実験により、カラム内の水分移動に関しては水分蒸発による移動に比して毛管圧現象による水分の上昇移動が卓越していること、及び六価ワロムが水分の移動に伴って鉛直上方に輸送されることを実験的に示すことが出来た。このことは六価ワロムの鉛直上昇移動を毛管圧現象によって説明できる可能性が示されている。

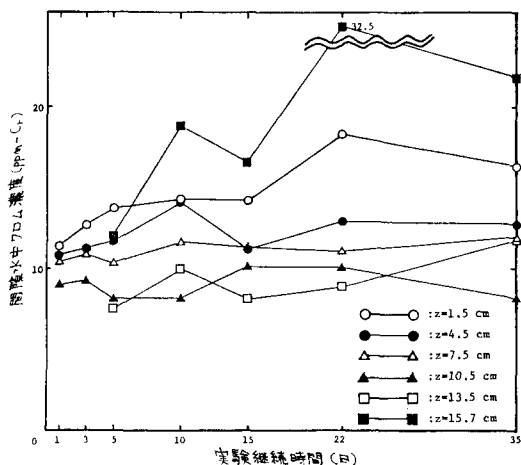


図-4 16 cmカラムにおける間隙水中ワロム濃度の経時変化

4. おわりに

本研究で実施した実験は非常に特殊な条件を前提としており、当然のことながらその結果を自然土壌にそのまま適用することはできない。より自然に近い状態における有害重金属の挙動を予測・解明するためには、晴天時の表面蒸発、降雨時の浸透降下、ヒステリシス現象や温度変化、共存イオンの変化、有機物の変化等により、実地層における重金属の移動がどのような影響をうけるかを理論的・実験的に検討する必要がある。