

京都大学工学部 学生員 横田 伸一

京都大学工学部 正 員 井上 頼輝

京都大学工学部 正 員 堀内 将人

1. はじめに

地層内における有害物質の主要な輸送媒体は水である。通気層における水は、土壌間隙を部分的に満たしているいわゆる土壌水分と呼ばれる水である。土壌水分の移動を記述する基礎式は一般に非線形偏微分方程式となること、及びその移動を直接に実測するためには特殊な実験技術上の工夫が必要であること、等がある。通気層における有害物質の移動を把握するための研究は、帯水層における同様の研究に比して著しく遅れている。

一方、降水量が蒸発量を大幅に上回る我が国においては、有害物質が通気層中を鉛直上方に移動するという現象は考慮されずにきたが、昭和50年東京都六面ワロム鉛中毒事件のように、地中に埋設した有害物質が鉛直上方に移動し表層に蓄積したとしか考えようのない現象が報告されて以来、地下水への有害物質の負荷量を予測するためだけでなく、地表層の汚染管理を実施するためにも、通気層での有害物質の移動機構を解明する必要があります強く認識されるようになってきた。

有害物質の鉛直上方に影響を及ぼす(移動を促進する)要因としては、1)土壌水分の毛管圧による上方移動(すいあげ)、2)地表面からの土壌水分の蒸発、3)地表面で高く地中に向、て低くなる温度勾配、4)土壌水分のヒステリシス効果、等が考えられる。これらの要因の内、1), 2), 3)についてはこれらが物質の上方移動を促進することが既に確認されている^{(1),(2)}。しかし現時点では、物質移動に対するヒステリシス効果は解析の困難な事もあり、十分に解明されていない。本報では、これまでの研究に続き土壌水分ヒステリシスが物質の上方移動に及ぼす影響について検討する。

2. ヒステリシス現象

ヒステリシス現象とは、土壌物理の分野では土壌水分特性曲線において「脱水曲線と吸水曲線とは一致せず、ある毛管ポテンシャルの値に対して脱水過程でもちこたえている水の分量が吸水過程でもちこたえているそれよりも常に多い⁽³⁾」現象と定義されている(参考に、使用した砂の土壌水分特性曲線を図1に示す)。実地層においては、降水、蒸発、地下水位変動等により土壌水分の連続的な浸潤、蒸発、再分配が生じており、水分移動のヒステリシスが物質移動に及ぼす影響を無視することはできない。

通気層における物質移動のヒステリシスは、1)土壌水分のヒステリシスに起因する効果と、2)物質と土壌との反応(非平衡吸着、不可逆反応等による化学ヒステリシス)とに支配されると考えられる。本報では、前者のメカニズムに着目して、地下水位の変動に伴い土壌水分のヒステリシスが生じる場合に、物質の鉛直上方移動がどのような影響を受けるかを検討した。

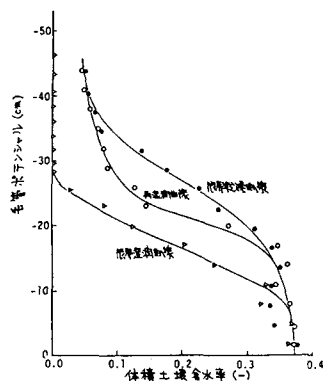


図1. 試料砂の土壌水分特性曲線

3. 実験

実験目的に照らして、対象物質としては土壌粒子と不活性である塩素イオンを用いた。試料砂を充填したアクリルカラム($\phi = 30\text{ mm}$)を 0.7 mg/ml 水溶液中に浸漬し(①)、一定時間毎に自由水面の位置を②→③→④の順で変化させる(図2参照)。以後各カラムを $[a, b]$ で分類する(a は全実験日数も示し、 $Q_{\text{日}}$ 毎に自由水面を $b\text{ cm}$ 変化させる)。実験の実施に際しては、 a を8、16日間とし、 b を0, 3, 6 cmとした。全実験期間終了後、カラムを分解し重量分析により飽和度を、硝酸銀滴定法により間隙水中 Cl^- 濃度及び土壌単位体積当り Cl^- 存在量を算出した。 a, b の各組合せで3本のカラムを準備し、全てのカラムに注

射針をさしたゴム栓を施して大気連絡を保ちつつ水分蒸発を可能最少とした。

$Q=8$ の場合の結果を図3～5に示す。

4. 考察

図4にみるように、カラム中の土壌水分分布は水位の変動に伴い明白な変化を示しており、特に表層部では変動幅が大きくなるにつれて水分量が大きくなっている。これは水分移動のヒステリシスによるものである。次に土壌単位体積当り Cl 量に着目すると(図5)、これも土壌水分の場合と同じく変動幅が大になるにつれて(特に表層部において)増加が著しい。表1に土壌表層部5cm中の Cl 存在量を示す。図表より、実地層において地下水位の変動が起こる場合には有害物質の鉛直上方移動が促進されることかわかる。また、土壌単位体積当り Cl 量は土壌水分量と間隙水中 Cl 濃度とを乗じて算出していること、及び間隙水中 Cl 濃度はカラムを通じてほぼ一定であること(表層で値が若干大きくなっているのは蒸発による濃縮の爲である。図3参照)から、本実験においては水位変動による物質(塩素イオン)の上方移動の促進が土壌水分のヒステリシスに起因していることは明らかである。なお表1において、 $Q=8$ の場合と $Q=16$ の場合とで値が異なるのは、水分再分配の未平衡及び実験誤差によるものと推察される。

5. おわりに

以上、通気層中で水分移動のヒステリシス現象がみられる場合には物質移動も大きな影響を受けることが確認された。今後は同現象の数値解析を進めると、種々のヒステリシス条件や土壌と活性な物質を用いた場合(化学ヒステリシス)について検討する予定である。

最後に、終始適切な助言をいただいた京都大学工学部森澤真輔助教授並びに実験に御協力いただいた研究室学生の池田英史、師正史、山岡泰治、他の諸氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 横田、井上、森澤; 通気層における六価クロムの鉛直上方移動, 第36回土木学会年講概要, II-8
- (2) 堀内、井上、森澤; 湿度勾配下不飽和土壌中でのクロムの鉛直上方移動について, 第37回土木学会年講概要, II-40
- (3) 八幡敏雄; 土壌の物理, 東京大学出版会

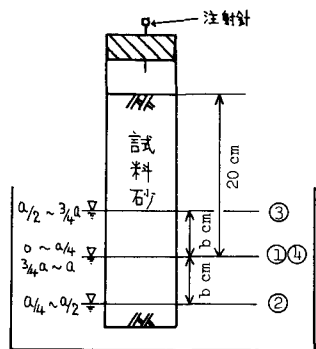


図2. 実験装置概略図 (カラム [a, b])

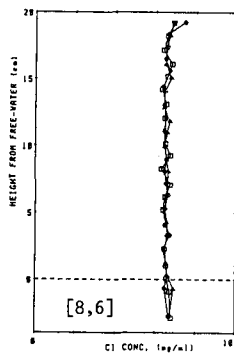


図3. 間隙水中 Cl 濃度分布

表1. カラム表層5cm当りの Cl 存在量 (mg)

a \ b	0	3	6
8	39.0	49.5	64.0
16	46.5	58.2	67.4

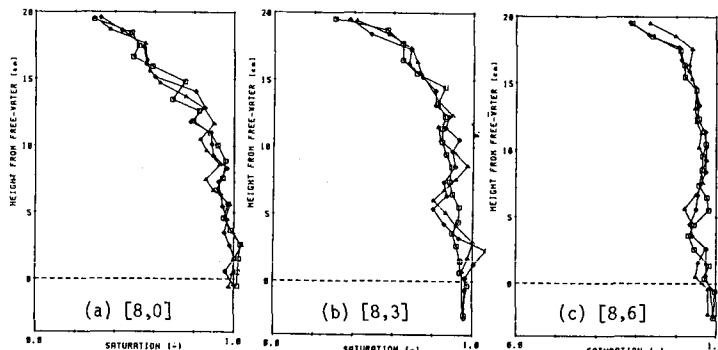


図4. 土壌水分分布

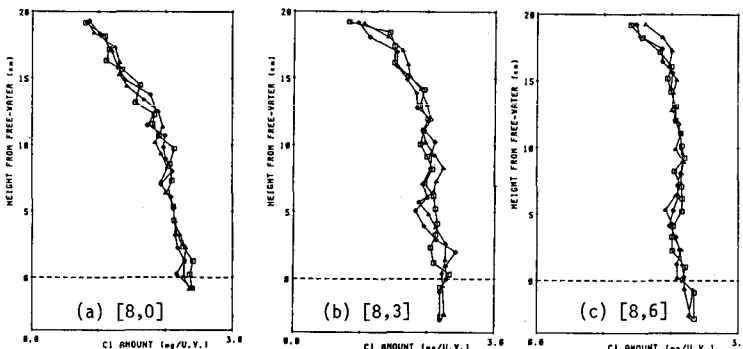


図5. 土壌単位体積当り Cl 存在量分布