

## 第 部門 透水試験を応用した油汚染の挙動解析

大阪府立工業高等専門学校 正会員 ○藤長 愛一郎  
大阪府立工業高等専門学校 佐々木 靖浩

## 1. はじめに

現在、我が国で平成 16 年度の土壤汚染対策法の指定基準を超える汚染が判明した事例は、公表されているものだけで 454 件となっている<sup>1)</sup>。汚染土壌の対策として、平成 15 年に土壤汚染対策法が施行された。この法律では、汚染が存在していても舗装や盛土などでリスク管理する方法も対策として認められている。しかし、社会的にはリスク管理が認められているとはいいがたく、土地を売買する際には、掘削除去などの完全浄化が求められる場合が多い。そこで、最近、欧米で採用されているリスクアセスメントを用いて、土地用途や現場の状況を考慮して対策する方法が提案され、注目をあびている<sup>2) 3)</sup>。リスクアセスメントを導入するメリットとして、汚染を完全に撤去しなくとも、土地を管理しながらリスクを低減でき、バイオレメディエーションや自然減衰法(Natural Attenuation)などの現位置浄化法の採用が可能なることにある。この現位置浄化法は比較的安価であり、現在、浄化費用が高額なため放置されている土地が使用できることになる。

しかし、現位置浄化法には、地下水の汚染物質の挙動を把握し、浄化効率を予測することが必要となる。そのために、室内実験で、汚染現場を模擬した土壤カラムを使用して、現場の浄化効率を予測することが重要となる。

本研究では、複雑になりがちなカラム実験を見直し、定水位透水試験を応用した簡易な装置を製作して、実験に使用した。油汚染物質として、環境基準が設定されているベンゼンを対象とし、その挙動を移流・拡散の数式モデルを用いて解析した。

## 2. 実験方法

図 1 に製作した土壤カラム実験装置を示す。まず、ベンゼン水溶液を砂層の上部に注入し、水道水の注水を開始する。カラムを通ったベンゼンは、底部の流出口から流出する。余分な注水はカラム上部の排水口から排水されるため、定水位が保たれる。土壤カラムは清涼飲料の PET ボトル (1.5ℓ, 直径 7.85cm) を利用した。

## 2.1 実験条件

- ① 注入するベンゼン水溶液の濃度：1.8g/l
- ② 使用した土壌：豊浦標準砂 カラム中の厚さ 29cm
- ③ ベンゼンの定量分析：吸光度計による測定 (波長 254nm)

## 3. 実験結果

図 2 にカラム流出口で採水した流出水中のベンゼン濃度の経時変化を示す。約 200 秒後からベンゼンが排出された。また、最も高濃度のベンゼンが排出されるのは、約 400 秒後でその時の濃度は 21mg/l であった。

## 4. 解析方法

今回の実験の数値解析を行うために必要な、一次元の移流に三次元の拡散を考慮した数式モデル<sup>4)</sup>に準じた式(1)を使用することとする。

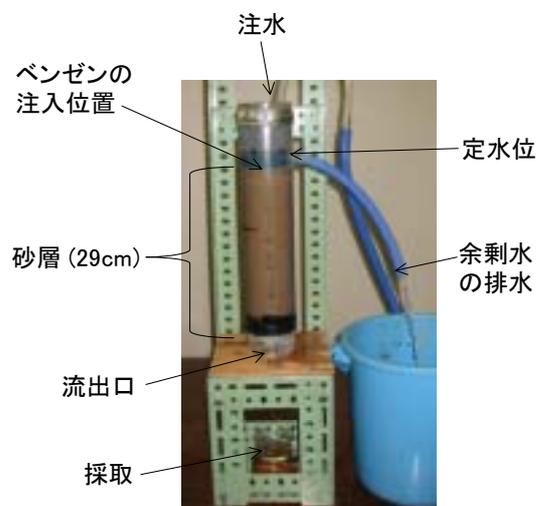


図 1 カラム実験装置

$$C(x,t) = \frac{C_0 \cdot V_0}{8 \cdot (\pi \cdot t)^{\frac{3}{2}} \cdot (Dx \cdot Dy \cdot Dz)^{\frac{1}{2}}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-v \cdot t)^2}{4 \cdot Dx \cdot t}\right] \quad \dots \text{式(1)}$$

ここに、 $C_0$ : ベンゼンの注入（初期）濃度、**1,800 (mg/l)**

$V_0$ : ベンゼンの初期体積 **100 (cm<sup>3</sup>)**,

$t$ : ベンゼン投入後の時間 (s)

$Dx, Dy, Dz$ :  $x, y, z$  方向の分散係数 ( $x$  を流れ方向,  $y$  と  $z$  を  $x$  に直角な方向,  $Dy$  と  $Dz$  はともに  $Dx$  の **1/10** の値)

$X$ : 砂層の表面からの距離 (今回は **29cm** のみの解析),  $v$ : ベンゼンの流速 (cm/s)

## 5. 解析結果

ベンゼンを用いた土壌カラム実験と式(1)を用いて計算した予測を図2に示す。分散係数  $Dx$  と流速  $v$  は未知数として、実験結果の値を用いて、逆解析（最小自乗法）により求めた。ただし、リスク評価をする上で重要となる高濃度時の計算値は、実測値より小さくならないようにした。その結果、 $Dx$  は **0.14cm<sup>2</sup>/s**,  $v$  は **0.12cm/s** となった。

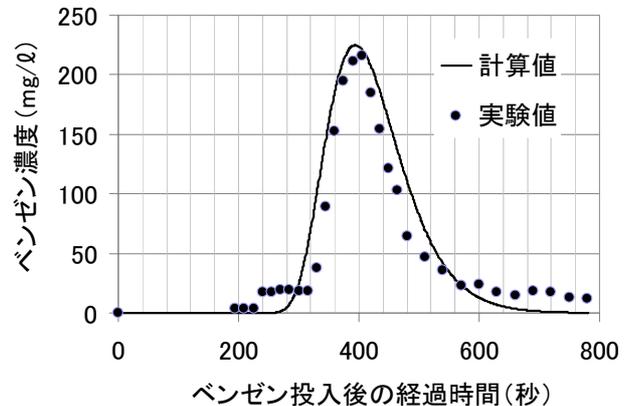


図2 カラム流出口におけるベンゼン濃度の経時変化

## 6. 考察

ベンゼン濃度の計算値と実験値を比較すると、実測値の方が計算値よりも少し小さくなる。この差の理由として、ベンゼンは揮発性であり、カラムに注入する際、カラム通過時、または流出時に揮発することが考えられる。また、流出口でサンプルした後も、分析するまでの間に揮発することも考えられる。

また、分散係数  $Dx$  については、ベンゼンの分子拡散係数の文献値は **9.8 × 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>/s** であることより、算出したベンゼンの分散係数の値は **1.4 × 10<sup>-1</sup> cm<sup>2</sup>/s** で **1000** 倍となり、移流を伴う拡散（分散）の場合には、ベンゼンのような水溶性の物質についても、分子拡散が使用できないことを示している。

## 7. 今後の課題

本研究の解析は、ベンゼンの挙動を移流と拡散だけでしか表現しておらず、ベンゼンの吸着・脱着は移流の遅れとして表現されている。よって、1つのカラム実験の結果を他の汚染現場に適用することは難しく、汚染現場ごとにカラム実験をすることが必要となる。

また、現実の汚染物質の挙動は、カラム実験結果を単純に適用しても予測できない場合が多く、本研究についても同じことがいえる。今後、現場への適用を目指して、現場のデータを実験結果へフィードバックさせ、実用的な技術へ発展させる必要がある。

## 8. おわりに

透水試験を応用した簡易なカラム実験でも、十分にベンゼンのような有機化合物の地下水中の移流・拡散を表現でき、汚染現場のリスク管理に役立つことを示すことができた。この方法を用いることによって、現位置浄化法の設計が容易になり、リスクアセスメントによる管理の導入しやすくなると考えている。

## 参考文献

- 1) 環境省：土壌環境の現状、年度別の土壌汚染判明事件件数、第2部、第3章、第1節2、pp.150、平成19年度環境白書
- 2) 藤長ら：リスクアセスメントに基づいた土壌・地下水複合汚染の現場ごとの浄化目標値設定手法に関する検討、土木学会論文集 第7部門、No.727/VII-26、pp.39-47、2003
- 3) 駒井ら：地圏環境リスク評価システム(GERAS)、環境産業技術総合研究所プレスリリース、2006.3、  
<[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2006/pr20060317/pr20060317.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2006/pr20060317/pr20060317.html)>
- 4) Baetslé, L. H., "Migration of radionuclides in porous media. In A.M.F. Duhamel Progress in Nuclear Energy Series XII, Health Physics, Pergamon Press, Elmsford, New York, pp.707-730, 1969 (in Physical and Chemical Hydrogeology, 2<sup>nd</sup> Edition, Domenico, P.A. and Schwartz F.W., John Wiley and Sons, Inc., 1997