

1. はじめに

わが国では、汚染された土地において地下水を引用することを想定した非常に厳しい環境基準で管理されている。そこで地下水の有無など、土地の条件ごとのリスク管理方法が求められている。一方で、汚染土壌や地下水から有害物質が大気中に移動するリスク管理の概念がない。欧米では Jury ら<sup>1)</sup>が移流・拡散の方程式を用いて揮発性物質の大気中濃度を算出しているが、実際の汚染現場での実測値との差異が大きいのが現状である<sup>2)</sup>。そこで、本実験では揮発性有害物質であるベンゼンを対象にし、土壌中のベンゼン濃度と大気へ揮発した大気中濃度の関係を調べる実験を行い、実験結果より移流や拡散方程式からモデル式を作成し、大気中濃度予測を試みる。

2. 理論

拡散速度フラックスの式(1)から、水槽内に蓄積されていくベンゼンを表現するために積分による式(2)を使用した。

$$J_A = C_0 \sqrt{\frac{D_E}{\pi t}} \quad (\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})) \quad \dots(1)$$

$$C = \int_0^t \frac{A}{V} J_A dt \quad (\text{mg}/\text{L}) \quad \dots(2)$$

ここで、 $J_A$ : フラックス( $\text{mg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ ),

$C_0$ : ベンゼン初期液中濃度( $\text{mg}/\text{L}$ )

$t$ : 時間( $\text{min}$ ),  $A$ : 表面積( $\text{cm}^2$ ),

$V$ : 容器内空气体積( $\text{cm}^3$ )

式(1)と式(2)から、計算値でのベンゼン濃度を予測することができる。土壌中での移流・拡散や吸脱着、空気中での拡散を含めた総合的な移動係数を有効移動係数  $D_E$  と定義し、実験値と最小二乗法によりこの値を求めた。

3. 実験方法

a) 基本実験

幅 17cm, 横 30cm, 縦 11.5cm の水槽に層厚 3cm になるように、豊浦標準砂を敷き詰める。その砂層にベンゼン溶液をかけ密閉する、その層を汚染土層として一定時間おきに、ガスクロマトグラフィ法を用いて計測を行う。

実験で行った覆砂厚と初期濃度の条件を以下に示す。

条件 1: 覆砂厚 0cm, 3cm, 5cm

条件 2: 初期ベンゼン液中濃度 44mg/L, 440mg/L

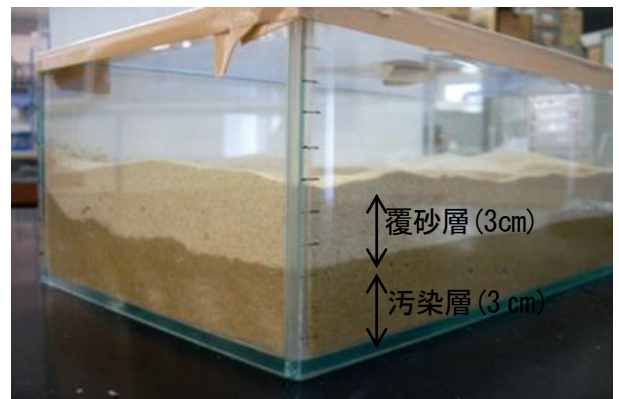


図1 実験装置 (30×17cm, 高さ 11.5cm, 約 6L)

b) 拡張実験

基本実験と同様の手順で、幅 30cm, 横 60cm, 高さ 35cm の水槽で覆砂厚 0cm, 10cm の実験を行った。

c) 実証実験

基本・拡張実験の結果を踏まえて幅 98.5cm, 横 98.5cm, 高さ 50cm の大型水槽で同様の実験を行った。

4. 実験結果

a) 基本実験

図2に覆砂 0cm, 初期ベンゼン液中濃度 44mg/L の基本実験の結果と、式(2)を用いて  $D_E$  を求め計算した濃度を示す。

図3に初期ベンゼン液中濃度 44(mg/L)で行った実験結果から求めた有効移動係数  $D_E$  を示す。覆砂厚 0, 3, 5cm それぞれで 0.0066, 0.0020, 0.00080 ( $\text{cm}^2/\text{min}$ )となった。初期ベンゼン液中濃度が 440(mg/L)の場合での  $D_E$  は、それぞれ 0.0041, 0.0029, 0.00080( $\text{cm}^2/\text{min}$ )であった。

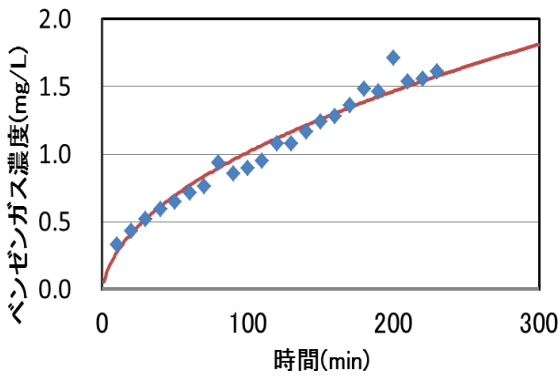


図2 基本実験結果(覆砂 0cm, 初期濃度 44mg/L)

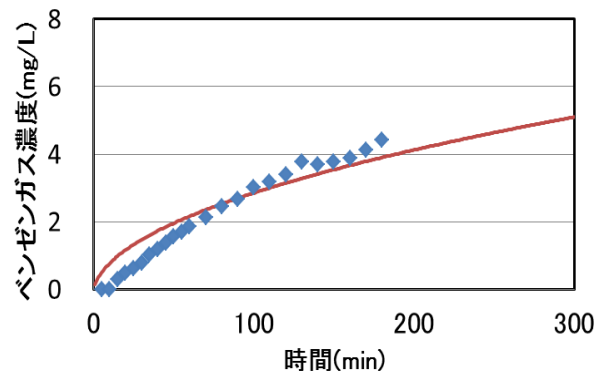


図4 拡張実験結果(覆砂 10cm, 初期濃度 440mg/L)

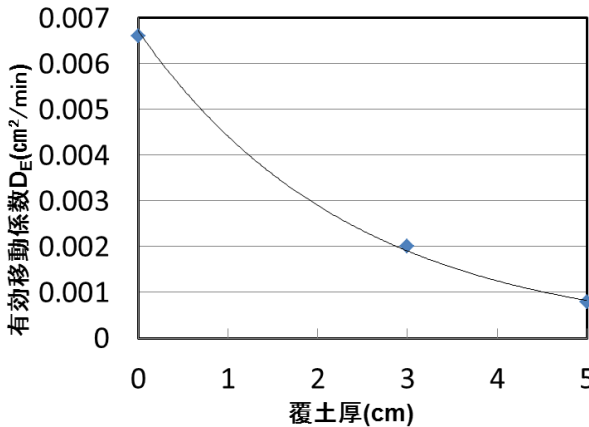


図3 基本実験の覆土層と有効移動係数の関係(44mg/L)

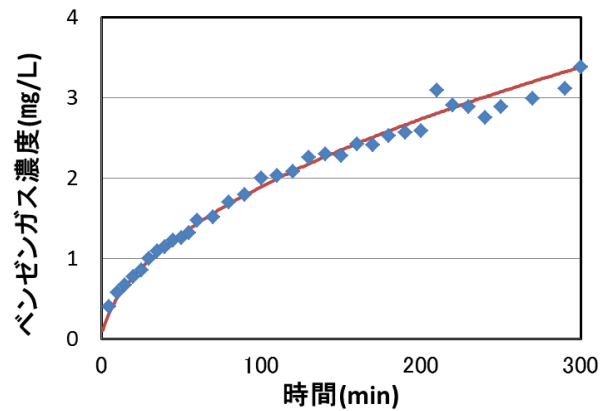


図5 実証実験結果(覆砂 0cm, 初期濃度 440mg/L)

このことから  $D_E$  は、初期濃度の影響はほとんど無視できると考えられ、層厚が増加すると  $D_E$  は減少することがわかる。

図3は濃度 44(mg/L)における層厚と移動係数を表したもので曲線は指数関数表記を用いている。プロット数が少ないため、一回り大きい水槽による拡張実験を行った。図4に結果を示す。

#### b) 拡張実験

一回り大きい水槽による拡張実験から、式(2)による濃度曲線と実測値に差異が見られた。これは、層厚 10cm と厚くなったため、土壌中の移動を総合的な係数  $D_E$  で表せなくなったためと考えられる。このことから、層厚の規模によっては、現在考えている式では、この現象を表すことができない。

#### c) 実証実験

図5に覆砂 0cm, 初期濃度 440mg/L の実証実験結果を示す。

ベンゼンガス濃度と理論値がほぼ一致していることがわかる。このことから、密閉系であれば、実験装置を大型化しても、式(2)は成立すると考えられる。

#### 5. 今後の課題

今回実施した一連の実験結果に基づく、大気中濃度の予測式は密閉系での式である。実際の汚染現場では、同じ状態でガス濃度を採取することは難しい。現場では実用的な土壌中ガス濃度などの関係を明らかにし、現場への適用について検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) William A. Jury (1990) Evaluation of Volatilization by Organic Chemicals Residing Below the Soil Surface, Water Resources Research, Vol.26, NO.1, Pages 13-20
- 2) 藤長 愛一郎(2004) 複数の有害物質による土壌・地下水汚染の健康リスク管理方法に関する研究, 京都大学博士論文 第4章