

# 地下水面近傍における VOC ガスの挙動に関する研究 Movement of gaseous volatile organic compounds in the vicinity of the water table

○下和田嘉己 濱本昌一郎 井本博美 西村拓 宮崎毅

Yoshiki Shimowada, Shoichiro Hamamoto, Hiromi Imoto, Taku Nishimura and Tsuyoshi Miyazaki

## 1. はじめに

近年、日本において工場からの漏洩や不法投棄によって揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds, (VOCs))による土壌及び地下水汚染が顕在化してきている。VOCガスの多くは、空気よりも比重が大きいため、周囲との間に密度差が生じ、重力の影響による密度流が生じると言われている。その結果、拡散移動のみで想定された場合よりも汚染領域が拡大するとの報告がある(Lenhard et al.(1995))。また、VOCガスは一般に難水溶性であるが、地下水まで達すると、長期的な地下水汚染を引き起こすという報告がある(伊藤ら, (2004))。

本研究では、地下水面近傍における VOC ガスの挙動及び密度流現象の検討を目的として、以下のことを行った。(1)二次元セルを用いたガス移動実験によって、地下水面がある場合とない場合の比較を行った。(2)実験で得られたデータと、拡散のみのガス移動シミュレーションを比較し、密度流現象を検証した。

## 2. 実験

### (1)ガス移動実験

供試土として豊浦砂を用い、気相率 40%(含水比  $0.02 \text{ g g}^{-1}$ )で  $100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$  の二次元セルに乾燥密度  $1.5 \text{ Mg m}^{-3}$  で充填した。地下水面有りの実験では、地下水位を二次元セルの底面から  $4 \text{ cm}$  に保ち、3 日間吸水させた。VOC として、ガソリンなどに含まれるイソヘキサン(Isohexane, 2-methyl-pentane)を用いた。

Fig. 1 に実験装置の概略図を示す。インレットチャンバー内の容器にトレーサー原液を加え、常に飽和ガスで充満させた。その後、インレットチャンバーを二次元セルに接続し、72 時間にわたり連続的にトレーサーガスを供給させた。ガスサンプリングポートをインレットチャンバーに 1 個、二次元セル上に 43 個設け、所定の時間毎にガスを採取し、ガス密度を測定した。

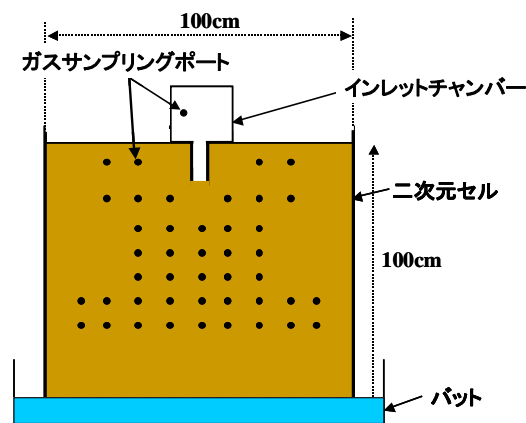


Fig. 1 実験装置の概念図

### (2)拡散移動シミュレーション

拡散のみのガス移動シミュレーションを、以下の支配方程式を陽的差分法によって離散化することで行った。

$$a \frac{\partial \rho}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} \right)$$

ここで、 $a$  は気相率 ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )、 $\rho$  はガス密度である。 $D$  は相互拡散係数 ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ )、 $x$  は水平方向距離 ( $\text{cm}$ )、 $y$  は深さ ( $\text{cm}$ ) である。 $dx=1(\text{cm})$ 、 $dy=1(\text{cm})$   $dt=1(\text{s})$  として、離散化した。相互拡散係数は、濱本ら(2006)の測定値を用いた。

### 3. 結果と考察

#### (1) ガス移動実験

72 時間後の二次元セル内の相対ガス密度分布の地下水面が有る場合(地下水位:深さ 96 cm)と無い場合の比較を Fig. 2 に示す。図中の数値は、ガス密度を飽和ガス密度で除した相対ガス密度である。地下水面がある場合において、相対密度 0.16 の等ガス密度線が地下水面がない場合よりも下方に伸びている。これは、地下水面がある場合、地下水面近傍において気相率が低く、それに伴い拡散係数も低下するため、地下水面近傍上でガス移動を妨げられ、ガスが貯留したためだと考えられる。相対密度 0.1 の等ガス密度線を見ると、地下水面がある場合に横に広がっていることがわかる。このことから、地下水面近傍に到達したガスは横方向へ広がっていくと考えられる。

地下水の存在によって気相率が急激に減少した領域(深さ 50~70 cm)と、初期の気相率を維持した領域(深さ 0~50 cm)のトレーサーガスの濃度を比較し、Table 1 に示す。地下水面が有る場合、深さ 50~70 cm のトレーサーガス濃度は地下水面が無い場合の約 2 倍の値を示した。この結果から、地下水面がある場合、地下水面近傍に相対的に高濃度のガスが貯留することが予想される。

#### (2) 拡散移動シミュレーション

地下水面がない場合における 72 時間後の実測とシミュレーションの比較を Fig. 3 に示す。実測のガス侵入部近傍を見ると、ガス密度線がシミュレーション結果と比べて下に伸びており、全体的にも実測のガス密度線が拡散シミュレーションよりも先行している。これは、密度流によってガス侵入部近傍のガス移動が促進されたためだと考えられる。

### 4. まとめ

地下水面の有無による比較から、地下水面が存在する場合、VOC ガスは地下水面近傍に留

まり、相対的に高濃度の状態で存在することがわかった。また、それに伴い横方向へのガス移動が促進されることも示唆された。

実測とシミュレーションの比較から、VOC ガスの移動においては密度流が発生し、拡散のみの移動よりも汚染領域が拡大することが確認された。

参考文献 Lenhard et al. , (1995):Journal of Contaminant Hydrology 19, 1947-67

伊藤(2004):土と基礎 vol.52-10-561, p18-20

濱本(2006):平成 18 年度農業土木学会大会講演会, p1007-1008

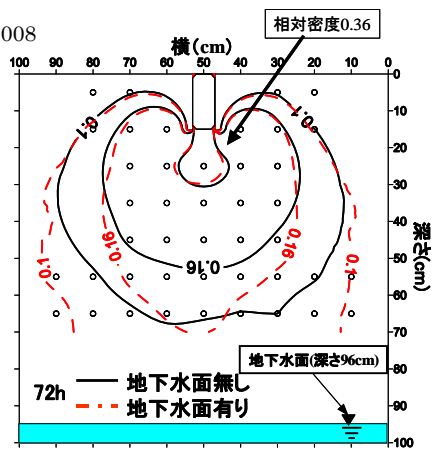


Fig. 2 地下水面の有無による 72 時間後の二次元セル内の

#### 相対ガス密度分布の比較

○はガスサンプリングポートの位置を示す

Table 1 トレーサーガスの気相中濃度(ml m<sup>-3</sup>)

|        | 深さ0~50cm | 深さ50~70cm |
|--------|----------|-----------|
| 地下水面なし | 37.5     | 10.1      |
| 地下水面あり | 37.4     | 19.2      |

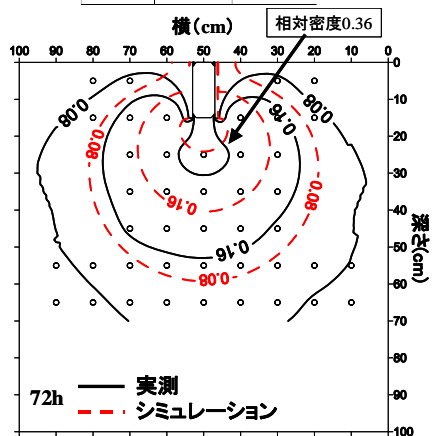


Fig. 3 二次元セル内の相対ガス密度分布の

#### 実測とシミュレーションの比較

○はガスサンプリングポートの位置を示す