

日本道路公団 正 員 ○田村道昭
大阪大学工学部 正 員 村岡浩爾
大阪大学工学部 正 員 玉井昌宏

1.はじめに

トリクロロエチレン等の揮発性有機塩素化合物(VOC)の地下環境中での挙動については未だに不明な点が多い。不飽和帯あるいは飽和帯の中での挙動¹⁾が複雑であるばかりではなく、両帯内の汚染機構の相互作用²⁾についても明らかになっていない。本研究では地下水位が変動する場における水に溶解した VOC の挙動について 1 次元カラム実験を行い、この相互作用について検討した。

2.実験の概要

図-1 に実験装置の概要を示す。乾燥状態のガラスビーズ (平均粒径 1mm) を充填した内径 10cm、高さ 50cm の真鍮製の円筒カラムを使用した。カラムの底部には内径 10cm、高さ 10cm の TCE 水溶液の貯水部分(End Reservoir)が接続している。TCE 水溶液供給タンク (Head Reservoir) からテフロンチューブを通じて TCE 水溶液を End Reservoir に供給することができる。また、供給する TCE 溶液の濃度を一定に保つために大口径のガラス管 (容量約 2.5ℓ) が TCE 溶液供給タンクと円筒カラムの間に接続されている。チューブ式定量ポンプにより Head Reservoir に TCE 溶液を注入することでカラム内の地下水位を変動させる。実験条件を表-1 に示す。地下水位については、図-4 に示すような変動を与えた。なお、実験は温度変化の影響を排除するために 20℃に設定した恒温室内で行った。濃度分析にはガスクロマトグラフ (FID) を用いた。

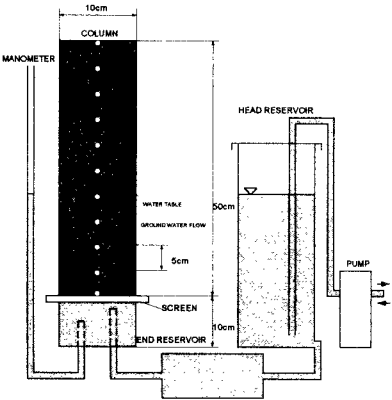


図-1 実験装置

表-1 実験条件

	Value
空隙率	0.4
平均ダルシー流速	1.23(m/day)
粒子レイノルズ数	0.031
初期溶液濃度	4.6(mg/l)
Ground Surface	Open

3.実験結果

図-2、3 に気相濃度、液相濃度の鉛直分布を示す。ここで座標については、カラム上端を原点とし、鉛直上方を正方向とした z 軸 (絶対座標) と、地下水面を原点とした z' 軸を (相対座標) を設定している。図-4、5 に $z=-10$ 、 -20 cm (絶対座標)、 $z'=-5$ 、 10 cm (相対座標) の気相濃度を示す。これらの図から、初期状態から地下水位が最高点に達するまでの間(T0-T3)では、時間が経過するにつれて気相濃度は増大していることがわかる。一般的に、地下水位が上昇する期間には毛管帯の厚さは減少する。一方、地下水位下降期には、飽和帯の水を取り

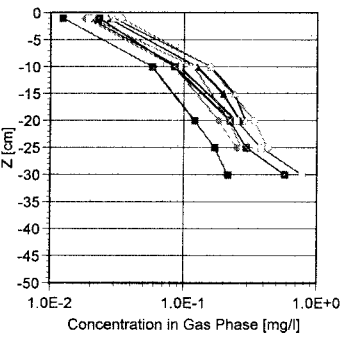


図-2 気相濃度の鉛直分布

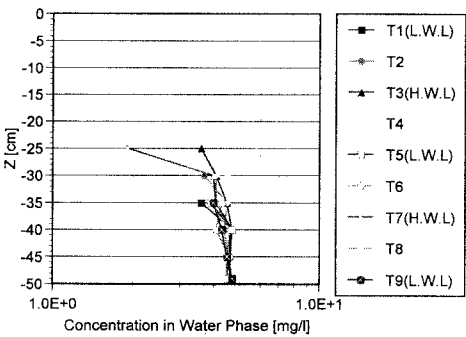


図-3 液相濃度の鉛直分布

Michiaki TAMURA , Kohji MURAOKA , Masahiro TAMAI

込みながら不飽和帯の厚さは大きくなる。つまり、水位上昇期の濃度の増大は主として、下方の高濃度ガスが上方に移動する、つまり移流の効果によって濃度が増大する。

地下水面が最高点から下降していく期間(T3-T5)では、 $z' = -5, -10\text{cm}$ における気相濃度は著しく増加している。相対座標上では移流の影響が無くなるので、拡散と溶液相からの揮散による発生量によって濃度変化が支配される。また、機構拡散を想定すれば、水位上昇と下降期において拡散係数に差異はないと考えられることから、この急激な濃度の上昇は発生項の増大に起因していると考えられる。つまり、下降期には毛管帯の厚さが増大して、気液界面の面積が増大し、発生項が増大する。最低地下水面に達した時点(T5)で相対座標の気相濃度が、そのほかの時間における濃度と比べて著しく高くなっているのは、毛管帯の厚さが最大となり、かつ、より高濃度の水溶液が不飽和帯内に取り込まれたからだと考えられる。また、T4-T5 間での $z = -20\text{cm}$ における気相濃度が増加しているのは、移流による濃度減少に比較して、発生と拡散による濃度増加が上回ったからである。また、図-2 の曲線 T5(L.W.L)の $z = -25 \sim -30\text{cm}$ における濃度勾配が非常に大きくなっていることからこの領域の毛管帯でのガス発生量が大きくなっていることを示している。

2 周期目の地下水位が最低点から上昇する間(T5-T7)では、相対座標における気相濃度は水位上昇とともに減少している。この時、水位上昇とともに毛管帯厚さは減少しており、気液界面の面積が減少することで、TCE ガスの発生は抑制されている。図-2 の曲線 T7(H.W.L)の $z = -15 \sim -20\text{cm}$ における濃度勾配が他の曲線に比して非常に小さくなっていることがこのことを裏付けていると考えられる。

図-3 より、 $z' < -5\text{cm}$ の領域では、液相濃度は、ほとんど変化していないが、地下水面付近では、TCE ガスの発生に伴って若干の低下している。これらのことから液相中の VOC 輸送においては、地下水面付近ではガス発生による生成項の影響を受けるが、拡散によって濃度の減少する領域は小さいことがわかる。

4.まとめ

不飽和帯の気相濃度は、毛管帯の挙動に大きく影響される。すなわち、地下水位下降期には、毛管帯厚さが増加することで、TCE ガスの発生量が大きくなるが、上昇期には毛管帯厚さが減少することで TCE ガスの発生量は小さくなる。

参考文献

- 1) 例えば、Sleep, B.E. and Sykes, J.F. : Modeling the transport of volatile organics in variably saturated media, Water Resource Research, Vol.25, No.1, pp.81-92, 1989.
- 2) Kathleen A. , McCarthy and Richard L. Johnson : Transport of volatile organic compounds across the capillary fringe, Water Resource Research, Vol.29, No.6, pp1675-1683, 1993

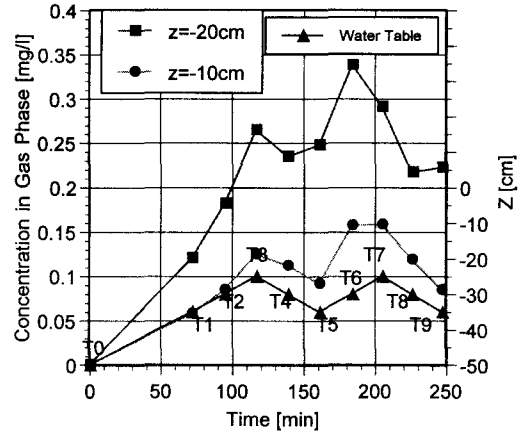


図-4 気相濃度の経時変化 (絶対座標)

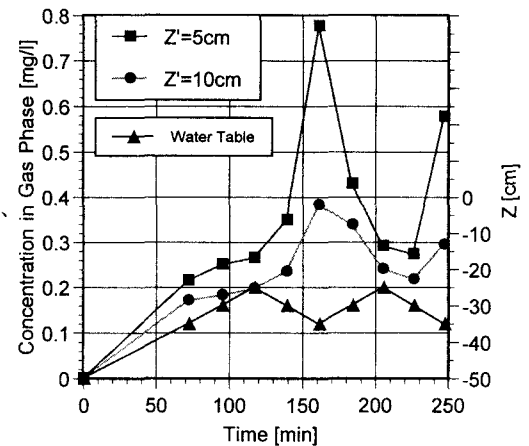


図-5 気相濃度の経時変化 (相対座標)