

多孔媒体中の揮発性化合物の非等温輸送モデルの検討

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○三浦俊彦、久保 博、西林清茂
近畿大学理工学部 正会員 高野保英、埼玉大学地圏科学センター 正会員 佐藤邦明

1. はじめに

近年、工場跡地などにおいてトリクロロエチレン等の揮発性有機化合物（VOC）による土壌・地下水汚染が大きな環境問題になっており、これに対する汚染土壌の浄化技術がいくつか開発され、実用化されている。それらの一つに、汚染土壌を密閉容器内に入れ加温とともに減圧することによって VOC を除去する技術があり、有効性が認められている¹⁾。この研究開発の一環として、本研究では、その基礎となる「加熱による土壌内の水分と揮発性化合物の輸送モデル」を実証実験まで含めて構築することを目的とした。本報では、その解析手法の概要を紹介するとともに、その検証のための実験方法を検討したので、その結果を報告する。

2. VOC 輸送モデルの構成

提案するモデルは、高野らが提案した「乾燥-不飽和土壌中での熱・液状水及び蒸気状水移動の同時連成解析」²⁾をもとに、VOC 移動量を加えたものである。輸送モデルの概念を図-1 に示す。一般に不飽和土壌中の VOC は、極端な高汚染土の場合を除けば、空隙中に水に溶解した状態やガス状として存在する。これらの VOC は熱や水とともに、不飽和土壌中では主に鉛直方向に移動するため、本モデルは鉛直次元としている。本モデルは5つの保存方程式すなわち①液状水の移動、②蒸気状水の移動、③VOC 溶液の移動、④ガス状 VOC の移動、⑤熱エネルギー輸送に関する方程式で構成される。これらを5元連立方程式として差分法によって解くものである。これにより、鉛直方向にける土温度、含水比、液状水中 VOC 濃度等の変化が解として得られる。

3. 実験方法

本モデルを検証するためには、VOC と水の蒸発速度が測定でき、かつ鉛直方向における VOC 濃度、含水比、温度変化が測定可能である必要がある。そこで、以下のような実験方法を考案した。図-2 に実験装置を示す。なお、本実験では、VOC としてメタノールを使用し、①水のみを蒸発させたケース、②メタノールのみを蒸発させたケース、③メタノール 50%溶液を蒸発させたケースの3種類により実験手法の確認を行った。

実験手順は次の通りである。1)ガラス容器（φ150mm、h80mm）に土厚が8cmとなるように珪砂6号を詰め、30℃恒温槽内に設置した。2) あらかじめ 30℃に保温した水またはメタノールで土を飽和させた後、底部コックを開き排水し不飽和状態を作成した。3)容器全体を電子秤の上に設置し、初期質量を計ったのち、容器の上

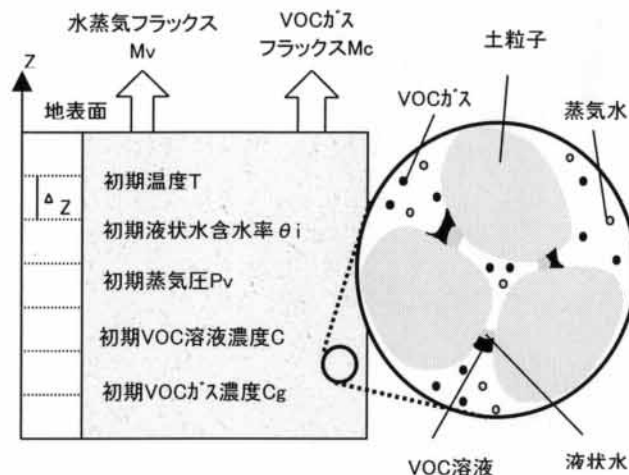


図-1 VOC 輸送モデルの概念

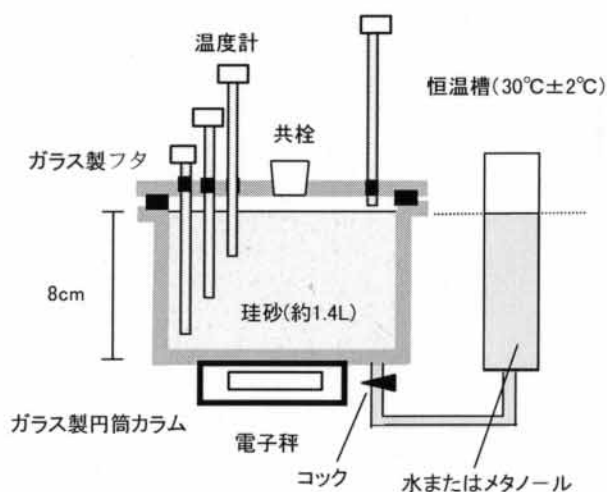


図-2 実験装置

キーワード：汚染土壌、浄化、揮発性有機化合物、輸送モデル、蒸発

連絡先：東京都清瀬市下清戸 4-640 TEL 0424-95-4902 FAX 0424-95-0907

蓋の栓を開く。4)容器全体の質量変化（蒸発量）と、珪砂中に深度ごとに設置した温度計で温度変化を測定した。5)所定時間蒸発させた後、珪砂試料を深度ごと（2cm ごとに3ヶ所）に採取し、含水（含メタノール）比を測定した。

4. 実験結果と考察

図-3 に蒸発量測定の結果を示す。どのケースとも、蒸発開始から 120 時間までの間は蒸発速度が安定しており、水のみケースは 1.51×10^{-6} (g/cm²/s)、メタノールのみケースは 2.79×10^{-6} (g/cm²/s) であった。メタノールの蒸発速度の方が速い結果を示したが、これは同一温度においてメタノールの蒸気圧が水よりも大きいことが原因である。メタノール 50%溶液についての実験結果も図-3 に示す。この場合、水とメタノールを分離した個別の蒸発量は測定しておらず、全体の蒸発量である。一方、水とメタノールそれぞれの蒸発速度（時間と蒸発率の関係）の実験結果をもとに単純計算した蒸発量を図-3 に併記している。実測値と計算値を比較するとほぼ同一線上であり、このことはメタノールと水の混合系においても蒸発速度が単独系の合算として評価可能であることを示している。なお、メタノール 50%溶液における水の蒸発速度は 5.30×10^{-7} (g/cm²/s)、メタノールの蒸発速度は 2.26×10^{-6} (g/cm²/s) と算出した。

図-4 と図-5 は、水のみを蒸発させた場合における土中の含水比経時変化の実測値と解析値をそれぞれ示したものである。VOC 輸送モデルによる解析では VOC の希薄溶液を対象としているが、本実験ではそれにあたるケースをまだ行っていないため、水のみケースについて含水比変化だけを着目し、予備的に解析を行った結果である。蒸発が進むとともに含水比が減少し、蒸発は上部から進んでいることがわかる。実測値と解析値を比較すると、両者の傾向はほぼ一致した。やや解析値の方が、上部表面の含水率変化が小さく、深度ごとの差が小さくなる傾向を示した。

5. まとめ

VOC 汚染した不飽和土中における水分および VOC の輸送モデルと解析手法を構築した。また、検証のための実験装置を試作し、メタノールによる実験で検証の見通しを得た。今後、メタノール希薄溶液を用いた実験、他の VOC による実験を行い、解析モデルの検証とともに解析精度の向上を図っていく。

【参考文献】

- 1)久保 博・三浦俊彦・川地 武・日笠山徹巳：VOC 汚染土の真空蒸発吸引処理に関する研究（その 1）－真空吸引と加温効果の基礎実験－，第 35 回地盤工学会研究発表会講演集，pp.2549-2550，2000
- 2)高野保英・福原輝幸・佐藤邦明：乾燥－不飽和土壌中の熱・液状水及び蒸気水移動の同時連成解析，土木学会論文集，Vol.635，pp.13-29，1999

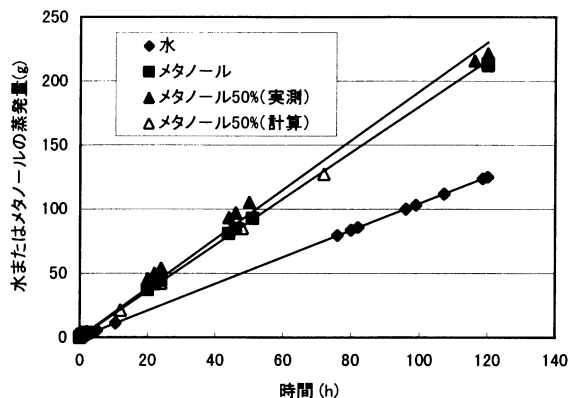


図-3 蒸発量の変化

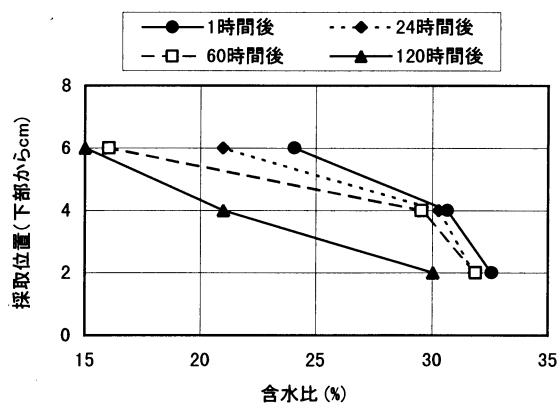


図-4 含水比の変化（実測値）

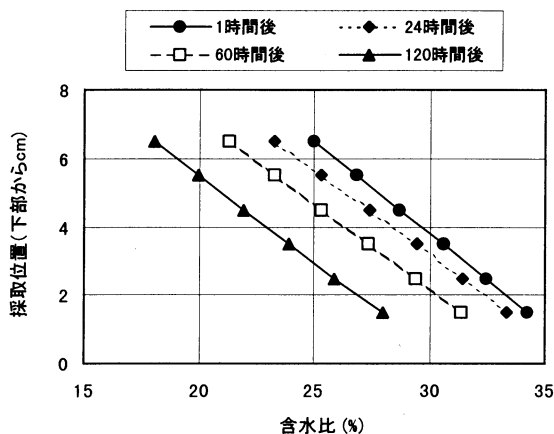


図-5 含水比の変化
(VOC 輸送モデルによる解析値)