

地表付近の地盤における水分・熱・溶質の分散現象

岐阜大学工学部 学生員 中村幸生
" " 棚橋秀行
" 正会員 佐藤 健

1. まえがき

廃棄物埋立処分場のように比較的浅層地盤中に負荷された汚染物質が、その後の降雨などによって地下深部に移流・拡散する現象は比較的検討例が多い^{1, 2)}。不飽和帯における土粒子との吸着特性や分散現象が、空気吸引カラムを用いた室内実験を通じ徐々に解明されつつある。蒸発量に比べ比較的降水量の多いわが国では、汚染物質の移動経路として、不飽和帯中での浸透水による鉛直下方への移流と溶質の分散がその主要なものとして注目されている。降水量に比べて蒸発量の多い乾燥地域では、地中の汚染物質が地表面付近に高濃度で蓄積する現象はよく知られている^{3, 4)}。わが国でも、埋立処分した六価クロムが地表に高濃度で蓄積した事例が1975年東京都で観察された⁵⁾。こうした事は、蒸発量に比べて降水量の多いわが国でも、地中処分した汚染物質が地表面付近に高濃度で蓄積する可能性のあることを示唆したもので、埋立処分場における汚染物質の移動に対し、降雨浸透による鉛直、水平方向の移動だけでなく、覆土中の鉛直上方の移動に対しても十分な注意が必要であると、指摘されるようになってきた⁶⁾。

汚染物質の鉛直上方への移動は、Philip & deVries⁷⁾あるいは deVries⁸⁾が提案した温度勾配下での水分移動モデルを基本にして検討される。モデルを介した検討例によれば、汚染物質の鉛直上方への移動と地表付近での蓄積現象を考える際には、①蒸発に伴う水分の相変化、②水分移動にともなう熱輸送、③温度勾配による水分移動、④溶質の分散、が重要になることが明らかになってきた。しかしながら、モデルに含まれるパラメータの決め方やその物理的な意味について不明な点も残されており、溶質の鉛直方向の移動と地表付近での蓄積現象が正確に記述されるまでに至っていない。溶質の鉛直方向への移動構造には、いろいろな要因が絡み単純ではない。ここでは、最も基本的なパラメータである水分と温度の拡散率と溶質の分散係数を室内実験からもとめ、それらパラメータが水分量とどのような関係にあるのか調べたので以下に報告する。

2. 室内実験

(1) 温度拡散率の推定

外径1mm、内径0.5mm、長さ50mmのステンレスパイプの中に直径0.1mmのコンスタン線と直径0.1mmの銅・コンスタンの熱電対を入れ、パラフィンで固定したヒートプローブを用いて土の温度拡散率を計測した。計測の方法には、定常法と非定常法があるけれども、土の場合は温度勾配によって水分移動が生じるので、比較的溫度勾配が少なく、しかも短時間で計測できる非定常法を用いた (Fig. 1参照)。

(2) 水分拡散率の推定

供試体の間隙空気圧を供試体側面の小孔からの空気圧、間隙水圧を供試体上下面のフィルターに作用させた水圧で、それぞれ制御しながら透水試験を行った。水分拡散率には比水分容量も必要になるが、その値は、供試体内の平均飽和度と平均サクションから水分保持曲線を求め、曲線の勾配から推定した。

(3) 分散係数の推定

供試体内部の飽和度を均質に保つためにカラム下端に吸引圧を作用させて、カラム上部より一定のダルシ一流速で溶質を流し、カラム下端で得られる破過曲線より溶質の分散係数を推定した。

3. 砂に対する計測結果

豊浦砂 ($\rho_s=1.6\text{g/cm}^3$) に対する測定結果をFig. 2-4に示した。水分拡散率・温度拡散率いずれも水分量の減少とともにその値が小さくなることがわかる。それに対して、分散係数は水分量の減少とともに大きくなる結果が得られた。同一の水分量・熱量がこの土に加えられたとき、低飽和状態ほど水分量の変化、温度の変化は小さくなることが推定される。それに対して、溶質の散らばりの程度(分散)は低飽和状態ほど激しくなることが予想された。

4. まとめ

地表付近の溶質が鉛直方向に移動して、地表面付近に高濃度で蓄積する現象を追跡する際によく用いられるPhilip & DeVries モデルの水分拡散率・温度拡散率を室内実験より推定したところ、各パラメータは飽和度に強く影響されることがわかった。モデルの適用には、蒸発率や温度勾配下での水分拡散率等のパラメータも必要になる。研究を継続して、それらパラメータの推定法を確立するとともに、地表付近の汚染物質の移動機構の解明に努力する。

参考文献

- 1) M. Th. VanGenuchten and P. J. Wierenga: Mass Transfer Studies in Sorbing Porous Media, I. Analytical Solutions, Soil Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 40, pp. 473-480, 1976.
- 2) 各務原市地下水汚染研究会: 各務原台地の地下水汚染-その原因と将来予測-, 1990.
- 3) Fritton, D. D. et al: Soil Water and Chloride Redistribution under Various Evaporation Potential, Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 37, pp. 509-513, 1967.
- 4) D. E. Elrick, et al: An Analysis of Solute Accumulation during Steady-state Evaporation in An Initially Contaminated Soil, J. Hydrology, vol. 155, pp. 27-38, 1994.
- 5) 横田、井上、森澤: 通気層における六価クロムの鉛直上方移動、第36回土木学会年次講演会、II、pp. 15-16、1981.
- 6) 森澤、井上: 有害物質の鉛直上方移動機構と地表面蓄積の評価、地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会、pp. 151-156, 1994.
- 7) J. R. Philip and D. A. de Vries: Moisture Movement in Porous Materials under Temperature Gradients, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 38, No. 2, pp. 222-232, 1957.
- 8) D. A. de Vries: Simultaneous Transfer of Heat and Moisture in Porous Media, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 39, No. 5, pp. 909-916, 1958.

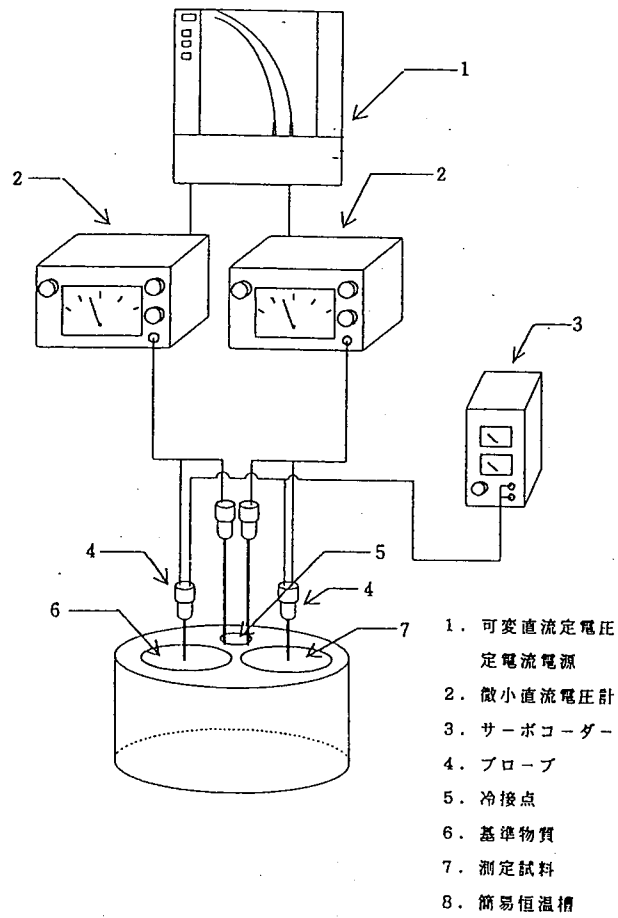


Fig.1 双子型非定常プローブ法の装置の模式図

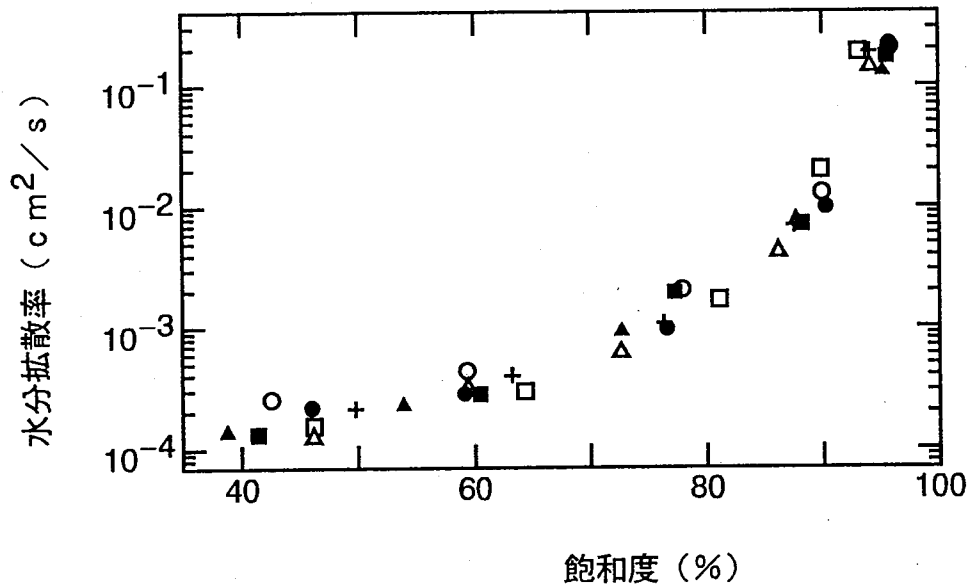


Fig.2 水分拡散率と飽和度の関係

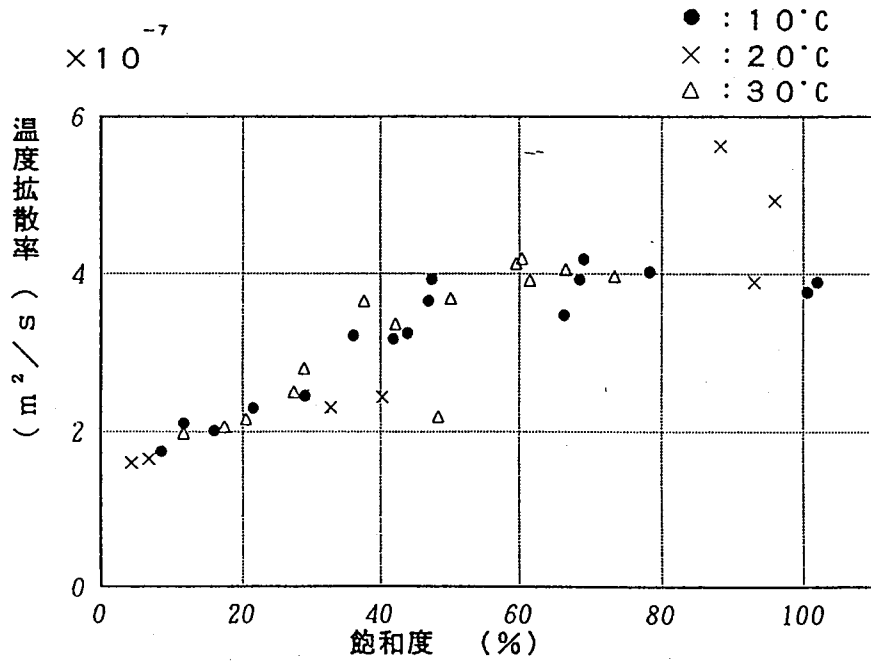


Fig.3 温度拡散率と飽和度の関係

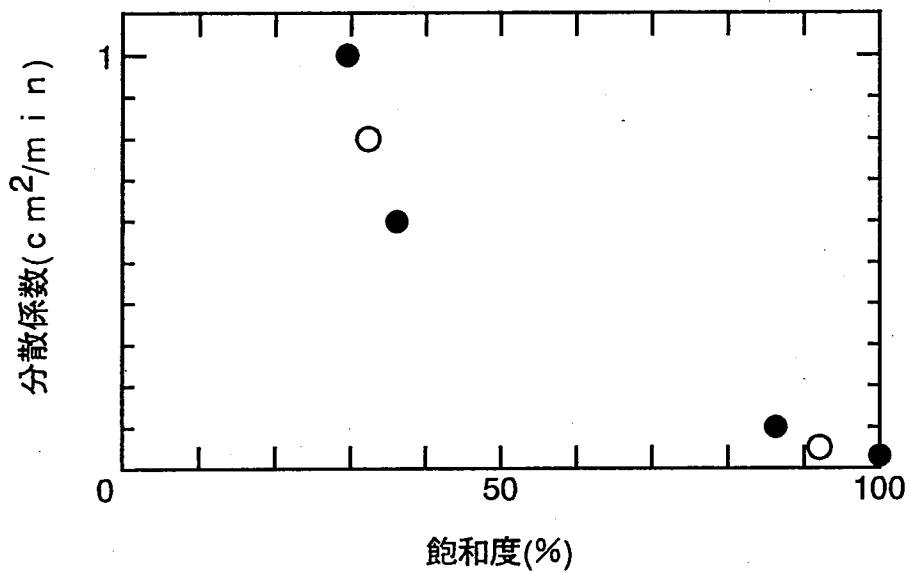


Fig.4 飽和度と分散係数の関係