

水-トリクロロエチレン二層界面における溶解現象に関する基礎的実験（その2）

大成建設株式会社 正 員○松井俊二
大阪大学工学部 正 員 村岡浩爾

1. はじめに 著者らは有機塩素化合物による地下水汚染現場において地下水の汚染濃度を継続的に観測している。¹⁾ その時系列には季節的変動をはじめ様々な時間スケールの変動が現れている。こうした変動特性を理解するためには汚染水の挙動を現地調査及び数値計算等により検討するだけでは不十分である。地中に存在する原液からの溶け出し量に関する定性的・定量的な情報が必要である。本研究では溶解現象に関する基礎的知見を得ることを目的として、有機塩素化合物原液が不透水層上に滞留して、水との間に成層界面が形成されている場合を想定した実験を行なった。本報では、前報²⁾に引続いて行った水・トリクロロエチレン2層流界面からの溶解実験および多孔体中における界面からの溶解実験について報告する。

2. 実験の概要 実験装置は図-1に示すように今回新たに高さ2cm、幅5cmの矩形断面を有する長さ140cmのしんちゅう製の管路を製作、使用した。装置中央部は長さ20cmにわたって断面を5cm×5cmに拡大しており、この凹部にトリクロロエチレンを注入する。多孔体中の溶解実験の場合にはこの凹部を含む装置中央部40cmの間に所定の粒径のガラスビーズを挿入後、凹部内にトリクロロエチレンを注入する。内部の流動を把握するために装置上部はガラス製になっている。実験は温度による溶解度の変化を防ぐために20℃に設定した恒温室内で行った。装置左端より定量ポンプで純水を注入し、右端より排出される汚染水を定期的に採水した。試水中のトリクロロエチレン濃度はガスクロマトグラフFIDを用いて分析した。実験において変化させたパラメーターは、2層流溶解実験では上層水の高さおよび界面の接触面積である。多孔体実験においては図-1に示した装置のみを用い、多孔体粒径を変化させた。流速は以上の条件のもとで平均流速で約1~60m/dayの間で設定した。これらの値は現実の地下水流速と比較すればやや速いが、レイノルズ数 $Re (=Uh/\nu)$ 、 U :上層水の平均流速、 h :上層水の高さ、多孔体実験の場合は多孔体粒径)は約0.04~14で完全な層流の範囲内にある。また事前に行った可視化実験により2層流実験の場合、鉛直方向の流速分布が放物線型の理論曲線とはほぼ一致することを確認している。

3. 実験結果とその考察 図-2に各実験条件における流速とトリクロロエチレン平均濃度の関係を示す。ここで流速は2層流実験では断面内平均流速、多孔体実験ではダルシー流速を採用した。また平均濃度とは装置末端で検出された濃度の時間的平均値である。図を見るかぎり速度の増大と共に検出濃度は減少する傾向にある。このことは流量の増大と共にトリクロロエチレンが希釈されたためであると考えられる。

図-3は各実験条件における流速と単位時間あたりのトリクロロエチレンの溶出量との関係を示す。ここで流速値は図-2と同様である。流速の増大と共に溶出量は増大する傾向にある。また全体的に多孔体実験での溶出量の方が2層流実験結果に比べて大きな値をとっている。これは多孔体流れの影響が現れていると考えられる。

これらの実験結果を整理するために単位時間あたりに溶け出すトリクロロエチレンの体積を界面の面積で割ったものが速度の次元を持つことに着目しこれを溶解速度 U_e と定義する。これを2層流実験の場合には層流の流速分布より計算した摩擦速度 U^* で、多孔体実験の場合には断面内平均流速 U_m で無次元化した。図-4は2層流実験における無次元溶解速度とレイノルズ数との関係を両対数上に示したものである。図中に示した実線は2層流界面から溶け出した汚染水の挙動を移流拡散方程式を用いて計算した数値解である。ここでトリクロロエチレンにより汚染された水の分子拡散係数は明確に知られていないため20℃の水の分子拡散係数を使用した。実験値を見るとレイノルズ数が1より大きい領域においては値の変動は小さいのに対し、低レイノルズ数の領域においては無次元溶解速度は増大する傾向にある。これは溶解現象が速度勾配に

Shunji MATSUI and Kohji MURAOKA

よるせん断力と分子拡散の相互作用による現象であることを示している。しかし、いずれの作用もそのオーダーは同レベルであるため実験値と計算値との間に大きな差はみられなかったものと考えられる。

図-5は多孔体実験におけるレイノルズ数と無次元溶解速度との関係を示している。図中の実線は多孔体流れとして得られた数値解である。実験値と計算値との間には大きな隔たりが見られる。計算に用いた分散係数は間隙内を流れる流速と多孔体粒径により決まり、そのオーダーは実験の範囲では分子拡散係数の数十倍から数千倍となる。一方、界面の境界条件としてトリクロロエチレン原液から水への溶解現象はこの分散の影響を直接受けると考えており、この点に問題があると考えられる。つまり、原液から水へ溶解する速度には上限値があり、レイノルズ数が大きくなっても U_e は変動しなくなるため無次元溶解速度は減少すると考えられる。また原液から水への溶解速度は、2層流実験結果において実験値と計算値の差がほとんどなかったことから分子拡散に近いオーダーであると考えられる。

4. おわりに 水とトリクロロエチレンのような難溶性物質が界面を形成する場合、その溶解現象は従来の移流、分散、拡散現象のみならず原液から水への溶解現象が律速段階として支配する特異な現象であることがわかった。今後は原液から水への溶解現象そのものに着目することが、現象把握に対し重要になろう。

本研究は昭和63年度東レ科学振興会の助成研究の一部である。記して、関係者に謝意を表する。

(参考文献) 1) 松井・玉井・村岡: O市湧水汚染と水文量、地下水位変動特性との関連に関する一考察、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、第2部、262-263、1990 2) 松井・玉井・村岡: 水-トリクロロエチレン二層界面における溶解現象に関する基礎的実験、平成2年度関西支部年次学術講演会講演概要、II-45、1990

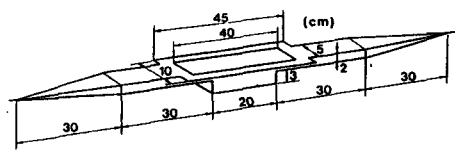


図-1 実験装置

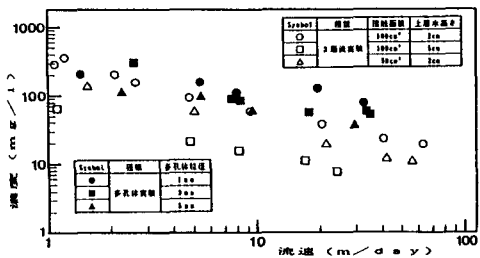


図-2 流速と平均濃度との関係

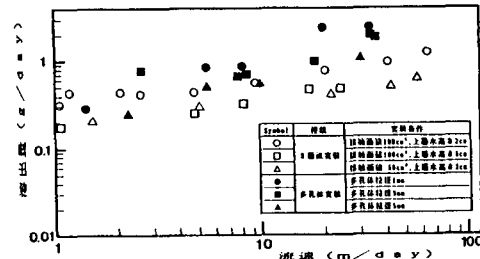


図-3 流速と総溶解量との関係

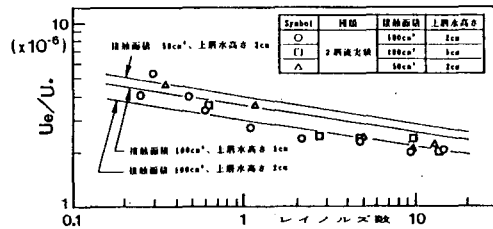


図-4 レイノルズ数と無次元溶解速度との関係 (2層流実験)

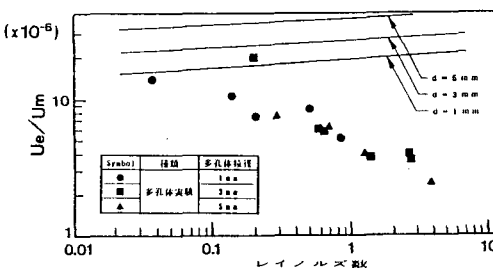


図-5 レイノルズ数と無次元溶解速度との関係 (多孔体実験)