

### 1. はじめに

水処理プロセスを徹底的にみた場合、最も基本的な現象の1つに、溶液中から固体粒子への溶質吸着という現象がある。その代表的な例としては、活性汚泥プロセスにおける基質、酸素の摂取の過程があげられる。活性汚泥プロセスにおいては、ばう気操作により混合液が攪拌されることによって、汚泥フロックと基質、溶存酸素を含んだ水塊との接触の機会が増大し、その摂取の過程は促進される。すなわち、ばう気槽内の流体運動の影響を強く受けるものと考えられる。この点に関しては、従来から、ばう気槽に注入する攪拌エネルギーの増加によって活性汚泥の基質除去速度が増大する等の報告がなされているが、そのメカニズムは十分明らかになっていない。そこで、本報告では、モデル的な実験を行うことによって、溶液中に汚遊している固体粒子に対して溶質の吸着があるような系において、流体運動とその物質移動速度にどのような影響を及ぼすかを検討した。

### 2. 実験の概要

行った実験は、攪拌槽を用いて合成吸着樹脂粒子を汚遊させたメチレンブルー溶液を攪拌し、メチレンブルー（以後MBと略す）の濃度の変化を経時的に測定したものである。このデータからMBの吸着速度を算定し、流体運動の影響を調べた。流体運動の条件としては、攪拌羽根の回転数（攪拌速度）と吸着樹脂粒子の粒径を変化させたが、これらは各々流体運動の強さと影響を及ぼすスケールを変化させたことに相当している。

図-1に、実験に用いた攪拌槽を示す。攪拌槽は、断面の直径30.0cm、高さ40.0cmの円筒形で、中に幅2.5cmのパドル型攪拌羽根がとりつけてある。攪拌羽根の回転数は、25、40、80、120rpmの4段階に変化させた。

用いた吸着樹脂は、O社製の多孔性ポリマー球状粒子（MR型樹脂）で表面が非極性のものである。この粒子を水中に汚遊させた時には、みかけの比重は1.03となる。実験に供した吸着樹脂粒子は、標準ふるいを用いて3段階に分類したものである。その平均粒径を表-1に示す。

MB溶液の初期濃度は、ほぼ50mg/lになるように調整した。1回の実験に供するMB溶液量は21.2lで、この時の攪拌槽の液深は30.0cmである。この中に汚遊させた吸着樹脂粒子の量は、乾燥重量で21.2g（液量の0.1%）である。MB濃度は、分光光度計で620mμの波長の吸光度を測定して求めた。

吸着反応は、温度による影響が著しい。そのため、実験は全て20°Cの恒温室の中で行った。温度は、20±1°Cの範囲でコントロールされている。

### 3. 吸着速度の算定

溶液中から固体粒子への溶質の吸着過程は、一般に次の3つの段階に分けて考えることができる。

- (1) 溶質分子の溶液中から粒子表面までの移動。粒子表面に隣接して液膜を仮定し、この液膜中の拡散に置き換えて考える。
- (2) 溶質分子の吸着粒子細孔内への拡散
- (3) 細孔内壁表面への吸着

このうち、流体運動の影響を直接受けるのは(1)の段階である。従って、溶液中から粒子表面への物質移動速度を分離して求めなければならないが、直接

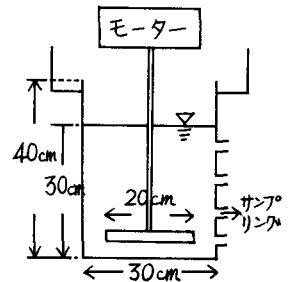


図-1 攪拌槽

表-1 吸着樹脂粒子

| 吸着樹脂粒子 | 平均粒径 (mm) |
|--------|-----------|
| 粒子 S   | 0.43      |
| 粒子 M   | 0.67      |
| 粒子 L   | 0.95      |

的には求めにくい。そこで、次のような方法を用いた。

まず全ての段階をまとめて単一の物質移動過程とみなし、総括物質移動係数  $K_L$  を考えることにすると、吸着過程を表わす基本式は次のようになる。

<吸着速度>  $dq/dt = K_L \cdot A (C - C^*)$

<吸着平衡等温線>  $q = f(C^*)$

<槽全体の物質保存則>  $q = V(C_0 - C)/m$

ここで  $q$ : 吸着樹脂粒子単位重量あたりの吸着量,  $C$ : MB 溶液の濃度,  
 $C_0$ : MB 初期濃度,  $C^*$ : MB の平衡濃度,  $A$ : 吸着樹脂粒子単位重量  
 あたりの表面積,  $V$ : 溶液量,  $m$ : 吸着樹脂粒子の重量

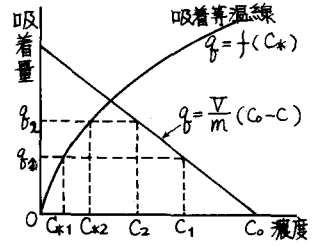


図-2 吸着速度式の模式図

これらの式の関係を示す模式図を、図-2 に示す。この中で、吸着等温線の関数形  $f(C^*)$  がわかれば、MB 濃度の経時変化のデータを用いて、各時刻における  $K_L$  の値を算出することができる。別に行った実験の結果、今回の実験に用いた MB 溶液-吸着樹脂粒子の系で成り立つ吸着等温線は、下のようなラングミュア型であることが確かめられた。

$$q = \frac{0.022 \times 116.0 \sqrt{C^*}}{1 + 0.022 \sqrt{C^*}}$$

こうした上で、吸着の初期に着目すれば、吸着量が少いことから  $K_L$  に対する寄与は(1)の段階がほとんどであると考えられる。従って、このときの  $K_L$  を溶液中から粒子表面までの物質移動係数とみなしうる。

#### 4. 実験結果

まず、実験から得られた MB 濃度の経時変化の例を図-3 に示す。これらのデータにはばらつきがみられたので最小二乗法によって6次式をあてはめ、3で述べた解析に供した。

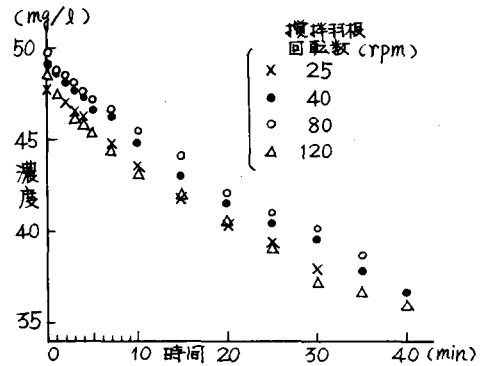


図-3 吸着によるMB濃度変化 (粒子M)

こうして求めた  $K_L$  のうち  $t = 1 \text{ min}$  のものを吸着速度を示す溶液から吸着粒子への物質移動係数の代表値とした。その値を攪拌速度で整理したものが図-4 である。これからわかる通り、 $K_L$  は粒子径によって異なる傾向を示す。小粒径では  $K_L$  は攪拌速度によらずほぼ一定になっている。このことは、流体運動の強さにかかわらず粒子のごく近傍における物質移動に対しては流体運動の効果に差が現れなくなるようなスケールが存在することを示唆している。一方、粒子径が大きくなるにつれて、 $K_L$  に対する攪拌速度の影響が現れるようになり、攪拌速度の増大とともに  $K_L$  も増大するという傾向を示す。このことは、粒子と流体の間に相対運動が生じその結果粒子の周囲の溶液が頻繁に入れ換わるためと推察される。

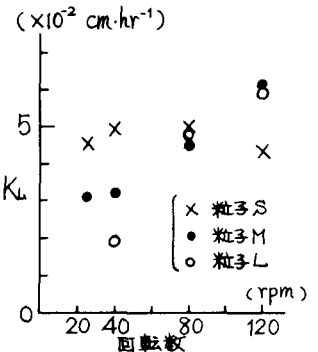


図-4 攪拌速度と  $K_L$

以上のように、定性的には、粒径といった流体運動のスケールを決定する要因が、溶液中における物質移動に対する流体運動の影響の現われ方を左右する要因になっていることがわかった。すなわち、流体運動の影響は、単に強さだけでなく空間的スケールにもよるものと考えられる。しかし、攪拌槽内の流れや乱れの構造は複雑であり、上のような定性的な結論を、流れの指標と直接結びつけて定量的に扱うことはできなかった。これを明確にするのは、今後の課題であると考えている。