

1. はじめに

最近、水処理プロセスの一環として、活性炭処理がますます注目されてきている。活性炭処理が、臭気・色度・ABSその他の有機物除去に有効な処理方法であることはよく知られている。しかし、活性炭処理を水処理プロセスに採り入れる場合に、その除去特性を定量的に把握し、水処理プロセスにおける活性炭処理の位置付けを明確にすることが十分にされているとはいえない。その為には活性炭の吸着機構に関する研究は大切である。活性炭の細孔構造、活性炭内表面の吸着特性についていろいろな考え方が提出されているが、吸着現象全般にわたって十分な説明がなされていない。活性炭の吸着現象については、活性炭粒子の結晶構造、細孔構造、細孔分布及びいわゆる分子ふるい作用等を統一的にとらえて、最も適切な説明がなされなければならない。本研究では、活性炭の細孔構造を考慮した細孔内拡散モデルを用いて数値解析し、回分式実験との比較から細孔内拡散係数を算出して、吸着物質の除去特性を把握するとともに、広く実用化されている固定層式の理論的解析を行なう。

2. 回分式実験とその理論解析

細孔モデルとして、円管モデル（あるいは平行平板モデル）を用いて、吸着質は分子拡散によって細孔内を移動するとして、次の基礎式を得る。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\rho_s}{\varepsilon_s} \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right) = D_i \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (x \neq l) \quad \text{----- (1)}$$

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)_{x=l} + \frac{\rho_s}{\varepsilon_s} \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right)_{x=l} = \frac{D_i}{\delta x} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_{x=l-\delta x} \quad \text{----- (2)}$$

ここで ε_s は空隙率（—）、 ρ_s はみかけ密度 (g/cm^3)、 D_i は細孔内拡散係数 (cm^2/sec)、 l は細孔内拡散距離 (cm) である。

初期条件、境界条件はそれぞれ次のようになる。

初期条件

$$C=0 \quad (0 < x < l), \quad C=C_i \quad (x=0)$$

境界条件

$$C_i - C_{x=0} = \frac{M}{\delta} \int_0^{\delta} \left(\frac{\varepsilon_s}{\rho_s} C + q \right) dx$$

ここで C_i は外部溶液濃度の初期値 (g/cm^3)、 M は活性炭濃度 ($g-ac/cm^3$) である。

吸着等温線を実験から求め、上の基礎式、初期条件、境界条件を差分法として Gauss-Seidel 法で収束計算を行なわせる。その一例を図-1に示す。

なお、使用した粒状活性炭の平均径 D 、空隙率 ε_s 、みかけ密度 ρ_s はそれぞれ $0.843 mm$ 、 0.5523 、 $0.989 g/cm^3$ であった。

3. 固定層式実験とその解析

実験方法は、凝集・沈殿・砂ろ過を行なって原水を前処理し、活性炭カラム3本に通水速度を変えて8時間通水する。今回は、吸着帯の移動速度、吸着帯の長さ、破過時間を求めて、固定層の特性を把握する簡略的手法を用いる。固定層式の基礎式は、層軸方向の流体混合を無視すると、

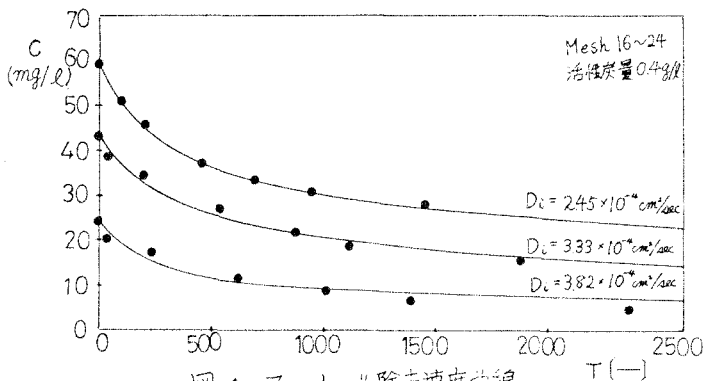


図-1 フェノール除去速度曲線

$$u\left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_t + \varepsilon_b\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_z + \rho_b\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right)_z = 0$$

----- (3)

ここで ε_b は層空隙率 [—], ρ_b は層のみかけ密度 [kg/m^3] である。

$\theta = t - \varepsilon_b z/u$ とおくと,

$$u\left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)_\theta + \rho_b\left(\frac{\partial \theta}{\partial \theta}\right)_z = 0$$

----- (4)

簡略的手法は吸着帯がその長さと濃度分布を変えることなく層内を進行するという現象がみられる時, 有効な方法であって, その時, 純担体物質移動係数 k_d [m/hr] を用いると, 吸着帯の移動速度 u_a [m/hr], 吸着帯の長さ z_a (m), 破過時間 t_b (hr) はそれぞれ,

$$u_a = \frac{u C_0}{\rho_b \theta_0} \quad \text{---- (5)}$$

$$z_a = \frac{u}{k_d \frac{\partial C}{\partial z}} \int_{C_0}^{C_e} \frac{dC}{C - C^*} \quad \text{---- (6)}$$

$$t_b = \frac{\rho_b \theta_0}{u C_0} \left[z - \frac{u \theta}{k_d \frac{\partial C}{\partial z}} \int_{C_0}^{C_e} \frac{dC}{C - C^*} \right] \quad \text{---- (7)}$$

であらわされる。ここで, C_0 , θ_0 は原水の初期濃度とそれに対応する平衡吸着量, C_b , C_e は破過開始時間といわゆる破過終了時間, Q_0 は固定層単位容積当りの活性炭粒子の外表面積 [m^2/m^3], θ は吸着帯の残存容量比 [—] である。

その1例を図-2, 図-3に示す。解析が遅れているので, その結果を当日示す。

4. 結果の考察

回分式では, 実験値と計算値が大体適合している。活性炭を乾式で添加している為, 初期において直線的に濃度が減少してくるので, 図-1では一応時間遅れをみなして補正している。数値解析するに当たってやむを得ず "micro-pore" の細孔容積も含めて計算したが, 理論モデル上から言えば, "macro-pore" の細孔容積だけを空隙として計算しなければならぬ。しかし, その場合でも, 細孔内拡散係数の値が小さくなるだけで, 数値解析による除去速度曲線の形には影響がない。細孔内拡散係数は同一吸着質において, C/C_0 に対して直線的に減少してくる傾向がある。

固定層式では, 一応簡略的手法によって整理するが, より厳密な解析は数値計算によらなければならない。実験条件として通水速度を大きくしてあるので, 通水速度による輸送プロセスが吸着速度にくらべて無視できなくなり, 図-2, 図-3はその影響がでている。今後, 数値解析をしてみる予定である。

参考文献

(*) 村保他: 活性炭吸着プロセスの動力学(1)

水道協会雑誌 第496号, 昭51.1

(*) 橋本: 固定層吸着装置の設計

水処理技術 Vol.13, No.2 1972

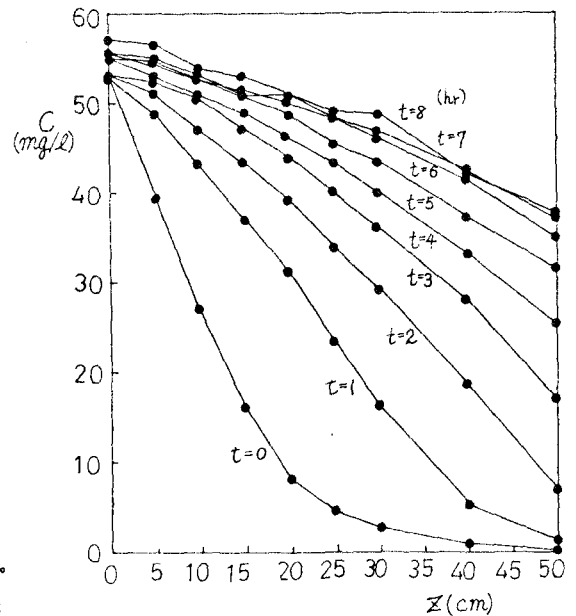


図-2 濃度分布の時間的变化

$u = 47.9 \text{ cm/min}$

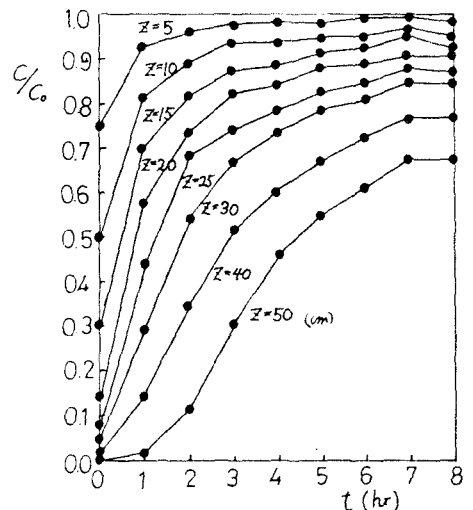


図-3 各層における濃度の時間的变化

$u = 47.9 \text{ cm/min}$