

II-411 フミン酸水溶液のカラム活性炭吸着テストにおけるレイノルズ数とペクレ数の影響

岐阜大学大学院 学生員○小林恭次郎

岐阜大学工学部 正会員 湯浅 晶

1. 研究目的

固定層活性炭吸着処理装置を設計するにはカラム出口濃度の時間変化、即ち破過曲線のある程度予測することが必要であるので、設計に先立って実際の原水についての小規模な固定層吸着処理実験を行う必要がある。実験時間を短縮するために粒径の小さな活性炭を用いて実験を行うことも多い。本研究ではカラム吸着テストにおけるレイノルズ数とペクレ数の影響について検討することを目的とする。

2. 理論

活性炭の充填密度や固定層空隙率が一定であり、平衡吸着特性や粒内拡散係数に変化がないと仮定すると、活性炭単位充填量当たりの通水量に対する破過曲線を一致させるためには一般に次のような条件が必要となる。¹⁾

粒内拡散過程に関する条件

$$\tau_e/d_p^2 = \text{const.} \quad \text{①}$$

境界膜拡散過程及び軸方向分散の影響に関する条件

$$u \cdot d_p = \text{const.} \quad \text{②}$$

$$\text{and } L/d_p = \text{const.} \quad \text{③}$$

ただし、 u : 通水速度(空塔速度)、 d_p : 活性炭粒径、 L : 固定層厚、 $\tau_e = L/u$: 固定層空塔滞留時間

条件式②、③が成立すれば同時に条件式①は自動的に満たされるので、完全なスケールアップ/ダウンが可能となる。式②はレイノルズ数($Re_p = u \cdot d_p / \nu$)を一定にすることを意味する。また Re_p が10以下では、粒径基準のペクレ数($Pe_p = u \cdot d_p / \epsilon_b \cdot D_b$)はほぼ一定(約0.5)である²⁾ことから、式③は層厚基準のペクレ数($Pe_L = u \cdot L / \epsilon_b \cdot D_b$)を一定にすることを意味する。ただし、 ν : 水の動粘性係数、 ϵ_b : 固定層空隙率、 D_b : 固定層軸方向分散係数

実際には、活性炭の粒径を小さくするほど圧力損失が増大するので、通水実験には高圧の定量ポンプを要するなどの制約が大きくなる。しかし、条件式

②、③を無視して、粒内拡散律速と考えた条件式①のみを満足させるのであれば、室内実験の通水条件(u と L の組合せの選択)の幅を広くとることが可能となる。

3. 実験方法

内径3.0cmのアクリルカラムに粒状活性炭(F400、粒径0.84~1.19mm、平均粒径1.0mm)を充填して、フミン酸(Aldrich製)水溶液(流入濃度 $C_0 = 22 \pm 2$ (mg/L))の通水実験を行った。実験条件は表1に示すように、固定層空塔滞留時間 τ_e をほぼ一定とし、カラムごとにレイノルズ数 Re_p とペクレ数 Pe_L が異なるように条件を設定した。水質指標としてTOCとUV吸光度(E_{228} 、 E_{268} 、 E_{398})を測定し、それぞれの破過曲線を求めた。

4. 実験結果と考察

図1~図4に各水質指標による破過曲線を示す。UV吸光度を水質指標とした破過曲線(図1~図3)では各カラムの破過曲線はほぼ一致し、レイノルズ数とペクレ数が異なることによる影響はみられない。

TOCを水質指標とした破過曲線(図4)では、TOCの測定精度に起因すると思われる濃度のばらつきが大きく、各カラムの破過曲線を比較するのは困難である。しかし、各カラムについて累積TOC流入量と累積TOC除去量の関係をプロットした結果(図5)に示されるように、レイノルズ数とペクレ数が異なることによる影響はみられない。

このことは、フミン酸のように粒内拡散速度の遅い物質の破過特性を予測するために固定層吸着をスケールアップまたはダウンする際には液境界膜拡散と固定層軸方向分散の影響を無視しうることを意味している。したがって必要な条件は式①の条件のみであり、通水速度と固定層厚の組合せについて選択の幅を広げることが可能である。

表1 固定層吸着実験操作条件

Run No.	粒径 d_p (cm)	層厚 L (cm)	活性炭量 M_c (g)	活性炭充填密度 ρ_b (g/cm ³)	通水流量 Q (mL/min)	通水速度 u (cm/min)	空塔滞留時間 τ_0 (min)	粒径基準レイノルズ数 Re_p	層厚基準ペクレ数 Pe_L
1	0.10	11.2	34.7264	0.4445	6.92	0.99	11.28	0.1371	56
2	0.10	23.0	69.4529	0.4330	12.52	1.79	12.82	0.2479	115
3	0.10	54.5	173.6322	0.4568	35.87	5.14	10.60	0.7102	273
4	0.10	109.0	347.2643	0.4568	71.30	10.22	10.66	1.4117	545
5	0.10	159.0	520.8965	0.4697	106.78	15.31	10.39	2.1144	795

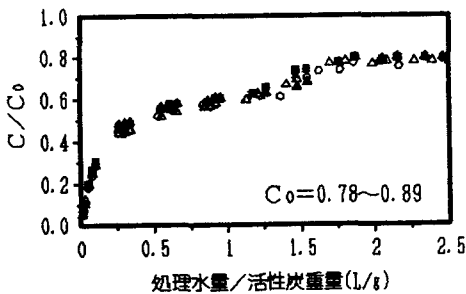


図1 固定層吸着破過曲線（濃度指標E220/cm）

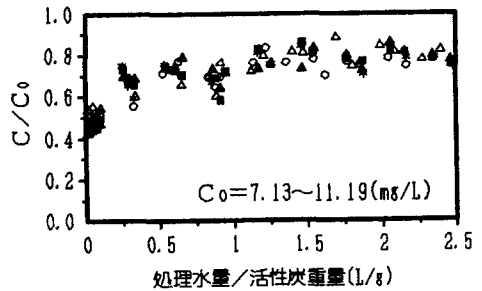


図4 固定層吸着破過曲線（濃度指標TOC）

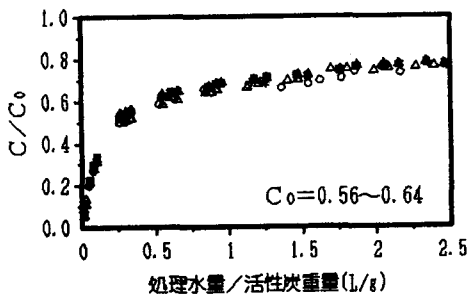


図2 固定層吸着破過曲線（濃度指標E260/cm）

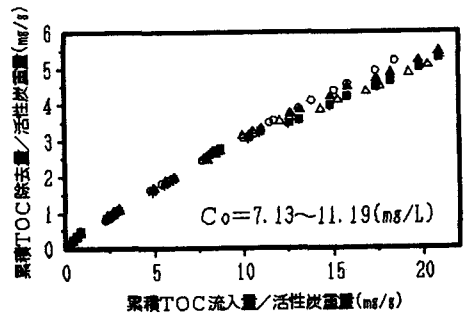


図5 累積TOC流入量と累積TOC除去量の関係

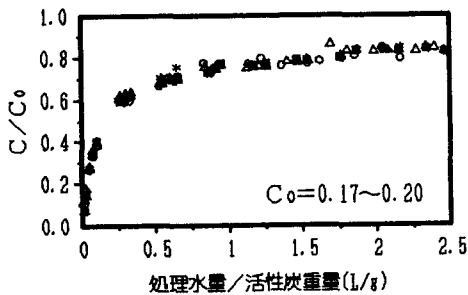


図3 固定層吸着破過曲線（濃度指標E390/cm）

図中記号（図1～5）

- △ RUN No. 1
- RUN No. 2
- × RUN No. 3
- RUN No. 4
- ▲ RUN No. 5

参考文献

- 1) J. C. Crittenden, et. al. ; JWPCF, Vol. 58, No. 4, pp. 312~319 (1986)
- 2) T. K. Sherwood, et. al. ; Mass Transfer, Mc Graw Hill, p136 (1975)