

生物難分解性有機物群の活性炭吸着特性に及ぼす凝集処理の影響

岐阜大学流域環境研究センター ○ 正員 李 富生 正員 湯浅 晶
岐阜大学工学部土木工学科 正員 松井佳彦

1. はじめに

凝集処理は、活性炭による生物難分解性有機物の吸着寿命を延長させる上で有効であると報告されている。しかしながら、こうした効果は単なる凝集処理による有機物群の濃度低下によるものか、または吸着特性の変化によるものかについては未だに不明確な点が多い。そこで、本研究では、し尿処理場の生物処理水とその凝集処理水を対象にした吸着実験と吸着モデルに基づいた数値解析を行い、凝集処理前後における有機物群の濃度及び吸着容量特性と吸着速度特性の変化から凝集処理の影響の機構を検討した。

2. 実験

実験原水として岐阜県各務原市し尿処理場の生物処理水とその凝集処理水を用いた。両試料水中の有機物群の初期濃度(波長 260nm での紫外外部光度; $E_{260} \text{ cm}^{-1}$)はそれぞれ 2.592 と 0.794 であり、凝集処理による有機物の除去率は約 70%であった。それぞれの原水を蒸留水で希釈し、pH と電気伝導度を調整した後 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過し、ろ液を吸着実験に供した。平衡吸着容量特性実験は有機物群の初期濃度を一定として活性炭添加量を変えていく回分式吸着実験方式に従って行った。また、固定層吸着実験は直径 0.4cm、充填層厚さ 1.0cm のマイクロカラムを用いて通水流速 1.664mL/min の条件下で行った。活性炭は粉碎した Filtrasorb-400 (回分式吸着実験では粒径 45 μm 以下のもの、固定層吸着実験では粒径 100~150 μm のもの)を用いた。

3. 数値解析

有機物全体を吸着性がある 5 成分と吸着性がない 1 成分の計 6 個 ($i=1\sim 6$, 吸着性のない成分を $i=1$ で表す)の成分に分類する。吸着性を持つ各成分の単成分系吸着等温線が Freundlich 式に従うものとし、有機物全体の吸着等温線の初期濃度依存性を表す Freundlich 指数 ($1/n$) は全成分同じであるとみなす。構成成分の吸着強度 (Freundlich 定数 K_i) 分布が対数正規分布であると仮定すると、各成分の吸着容量特性係数 (K_i と $1/n_i$) 及び初期濃度割合 (C_{i0}/C_{T0}) は $\log_{10} K_i$ の平均値 K_M と標準偏差 σ 及び Freundlich 指数 $1/n$ の 3 つの特性値によって規定され、有機物全体及び各成分の平衡吸着容量特性は理想吸着溶液理論に基づいて誘導した吸着等温線モデルにより表すことができる¹⁾。これらの特性値 (K_M , σ , $1/n$) は合計吸着等温線の実測値とモデルによる計算値との照合により探索した。固定層吸着における有機物群の破過挙動は、押し出し流れを考えた各構成成分の物質収支式と液境膜抵抗を考慮した液境膜・表面拡散と細孔拡散の並列粒内拡散モデルに基づいて解析した。数値解析に必要な各成分の液境膜物質移動係数 (k_p) と細孔拡散係数 (D_p) は既往の推定式に、Wilke & Chang の式によって算出した各成分の分子拡散係数 (D_m) を代入して求めた¹⁾。また、各成分の表面拡散係数 (D_s) は有機物全体の破過曲線の実測値と計算値との照合により探索した。

4. 結果と考察

有機物群の合計吸着等温線の実測結果と計算結果を図 1 に示す。構成成分の吸着特性の違いを反映して、両試料水とも合計吸着等温線は初期濃度によって異なり、単成分系のように初期濃度に依存せず一本化される特徴がない。計算結果と実測結果との照合により決定した各成分の平衡吸着容量特性係数を表 1 に示す。生物処理水を凝集処理することにより、有機物は吸着強度の広範囲にわたって除去され、その除去量は吸着性の強いもの (K が大きいもの) より吸着性の弱いもの (K が小さいもの) の方が多いため、凝集処理水の方で成分の K 値が大きくなっている。 K の濃度

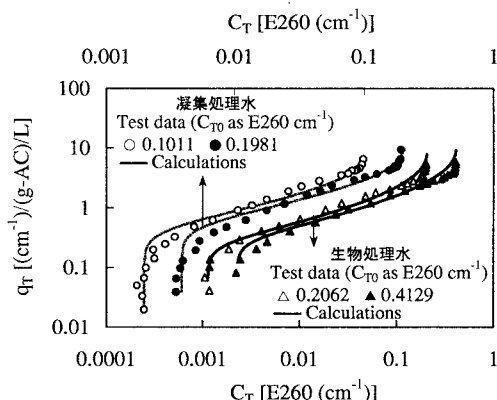


図1 有機物群の合計吸着等温線の実験結果と計算結果

表1 有機物群の構成成分の平衡吸着容量特性係数等

生物処理水 (1/n=0.24)			凝集処理水 (1/n=0.25)		
<i>i</i>	<i>K_i</i>	<i>C_{i0}/C_{T0}</i>	<i>i</i>	<i>K_i</i>	<i>C_{i0}/C_{T0}</i>
1	0.00	0.006	1	0.00	0.020
2	0.60	0.035	2	0.93	0.034
3	1.55	0.237	3	2.22	0.233
4	4.00	0.452	4	5.30	0.445
5	10.29	0.237	5	12.66	0.233
6	26.48	0.035	6	30.23	0.034
平均	5.55			6.90	
<i>K_M</i> =4.0; σ=0.34; 1/n=0.24			<i>K_M</i> =5.3; σ=0.32; 1/n=0.25		
[<i>K_M</i> , σ and <i>K_i</i> : (cm ⁻¹) ^{1-1/n} /(g/L)]					

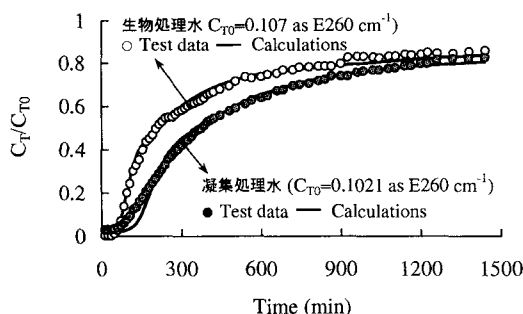


図2 有機物群の合計破過曲線の実験結果と計算結果

平均値(生物処理水では 5.55, 凝集処理水では 6.9)からみた吸着性は凝集処理水の方が約 24%高い。

固定層吸着における有機物群の破過曲線を図 2 に、吸着速度特性関係の各拡散係数の推定値を表 2 に示す。吸着時間の広範囲にわたって、破過曲線の計算結果は実測結果を精度良く再現している。また、個別の成分を除き、その殆どの成分の k_p , D_{Pi} , D_{Si} は凝集処理水の方で若干高くなっているものの、生物処理水との差が小さく、凝集処理の吸着速度特性への影響は吸着容量特性への影響に比べて小さいことがわかった。

決定した吸着容量特性と吸着速度特性の諸係数を用いて、希釈する前の生物処理水とその凝集処理水、及び凝集処理水の初期濃度と同じになるように希釈した生物処理水(生物処理水の希釈水と称す)の吸着等温線と破過曲線のシミュレーションを行った。その結果を図 3 と図 4 に示す。吸着等温線に着目すると、重なっている平衡濃度の領域における平衡吸着量は凝集処理水の方が最も高く、凝集処理水、生物処理水の希釈水、生物処理水の順と低くなっている。凝集処理による平均吸着量の増分、すなわち吸着等温線(3)と(1)の差の中、約 74%は凝集処理による有機物の濃度低下(除去率約 70%)、残りの約 26%は主に吸着強度(Freundlich 定数 K)の増加によるものであることが表 3 から判明する。また、有機物群の破過曲線をみると、吸着処理時間の広範囲にわたって有機物の流出率は凝集処理水が最も低い。流出率が 30%に至るまでの累積処理水量を比較すると、その増分、すなわち(3)と(1)における累積処理水量の差の中、初期濃度の低下、吸着容量特性と吸着速度特性からみた吸着性の変化によるものはそれぞれ 47%, 53%と、初期濃度低下の影響が若干小さかった。しかしながら、その影響は流出率が高くなるにつれて次第に大きくなっていくことが流出率 60%に達するまでの累積処理水量から確認される。この場合、凝集処理による累積処理水量の増分(1.2L/g)の約 59%は初期濃度低下による効果であった。

5. まとめ

凝集処理前後における有機物群の濃度、平衡吸着容量特性及び吸着速度特性の変化をそれぞれ影響因子として取り上げ、吸着モデルに基づいた数値解析結果より、生物難分解性有機物群の活性炭吸着特性に及ぼす凝集処理の影響機構を考察することができた。固定層活性炭吸着効率の向上は凝集処理による有機物の吸着容量の上昇とその負荷の低下に起因するものであり、吸着時間の増加につれて後者の関与が次第に大きくなることを明らかにした。

【参考文献】1) Yuasa A., F. S. Li, Y. Matsui: Fundamentals of Adsorption (FOA6), Paper 1 & 2, 1998.10

表2 有機物群の構成成分の表面拡散係数等

i	2	3	4	5	6	平均
生物処理水						
D_{Si} (10^{-11} cm ² /sec)	116	12.6	1.28	0.14	0.014	7.63
D_{Pi} (10^{-7} cm ² /sec)	1.29	1.58	1.49	1.69	1.55	1.55
k_p (10^{-3} cm/sec)	4.8	5.5	5.3	5.8	5.5	5.43
凝集処理水						
D_{Si} (10^{-11} cm ² /sec)	98.3	13.2	1.6	0.19	0.024	7.21
D_{Pi} (10^{-7} cm ² /sec)	1.42	1.95	1.8	1.55	1.55	1.72
k_p (10^{-3} cm/sec)	5.2	6.4	6	5.5	5.5	5.81

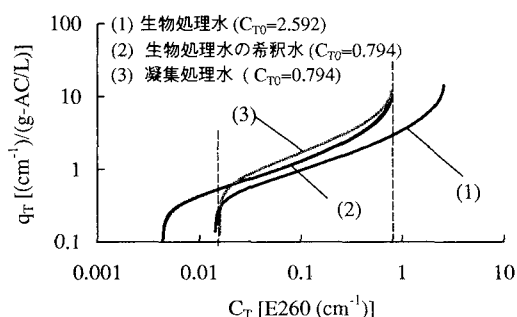


図3 凝集処理による有機物群の合計吸着等温線の変化

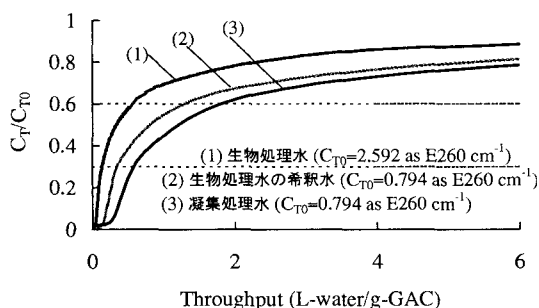


図4 凝集処理による有機物群の合計破過曲線の変化

表3 有機物群の平均吸着量と累積処理水量

試料水	生物処理水(1)	希釈水(2)	凝集処理水(3)
平均吸着量 [(cm ⁻¹)/(g-AC/L)]			
$C_T = 0.025-0.794$ cm ⁻¹	1.23	2.18	2.52
累積処理水量 (L-water/g-GAC)			
$C_T/C_{T0} = 0.3$	0.13	0.34	0.58
$C_T/C_{T0} = 0.6$	0.57	1.28	1.77