

1. はじめに

多段塔型曝気槽は設置面積を縮小することができ、酸素移動速度や利用効率を増加させるなどの利点がある。また廃水中からの有機物の除去率を増加させることおよび沈殿槽での固液分離過程で問題となる汚泥の沈降性に関しても良好な沈降性を有する汚泥が生成されるという基礎知見を得ている。完全混合と押し出し流れの中間的流動特性を示す多段塔曝気槽の特徴の1つは反応槽内に濃度分布が存在することであり、この特性を利用することによって活性汚泥による有機物の急速な吸着除去と汚泥の安定化を同一反応槽で行なわせることができるので、プロセスの処理効率を高めることが期待できる。そこで本研究ではこのプロセスを用いる活性汚泥法の有機物除去機構を明らかにすると同時に速度論的解析を行ない、その結果に基づいて混合特性を表示する拡散モデル式に生物吸着反応とそれに続いて起る酸化分解反応を考慮した動力学モデル式を導入した数理モデルによって多段塔曝気槽の処理能力を評価できるか否かを検討することを目的とした。さらにこの数理モデルを用いて数値解析を行ない、混合特性と処理性(除去率、汚泥生成量、汚泥の沈降性)との関係について求め、許容限界有機物負荷率に関して考察した。

2. 実験装置と方法

連続処理実験に使用した多段塔曝気槽の概略図を図-1(a)に示す。

曝気槽は8段と16段のものを使用し、全有効容量85ℓ、直径10cm、高さ1.4mの円筒型であり、各段に取り付けた仕切板は直径6mmのホール3個を有するものである。廃水を最上部より流入させ、各段に散気孔で通気させる方式を採用した。沈殿槽の容量は4ℓで、汚泥の返送および引き抜きは定量ポンプを用いて連続的に行ない、曝気槽内汚泥濃度を約3000mg/ℓに保持した。また同容量の完全混合型曝気槽(図-1(b))も同時に運転し、多段塔曝気槽の処理能力と比較検討した。各曝気槽の混合特性をパルス入力によるトレーサ応答実験で求めた結果を表-1に示しておく。本実験ではバプトンと内エキスを主成分とした人工下水(COD_{Cr}:P:N=100:15.6:5.6)を用い、廃水の供給速度を一定にし、供給廃水の有機物濃度を变化させることによって種々の有機物負荷条件で運転した。

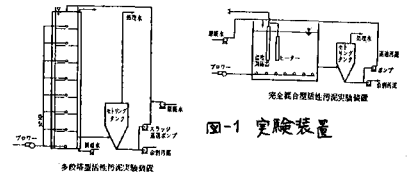


図-1 実験装置

表-1 曝気槽の混合特性

	ペクルー数	理論段数
完全混合槽	0.05	1.0
多段塔(8段)	2.2	1.9
多段塔(16段)	4.5	2.8

3. 実験結果および考察

3-1. 混合特性と処理性との関係 供給廃水の有機物濃

度を变化させて、有機物負荷量と有機物除去率、余剰汚泥発生量、汚泥の沈降性との関係を完全混合型と多段塔型曝気槽について比較検討した。図-2に示すように、処理水COD_{Cr}、汚泥収率について多段塔型曝気槽の方が完全混合型曝気槽を用いた時よりも低い結果が得られ、処理効率を高めることおよび余剰汚泥の生成を少なくできることが明らかになった。さらに

汚泥の沈降性に関しても完全混合型では汚泥負荷量が1.0kgCOD_{Cr}/kgMLSS・day以上になるとSVI値が200^{mg}/g以上には急激に増加し、糸状性細菌の増殖による汚泥のバルキング現象が認められたが、多段塔型曝気槽では有機物負

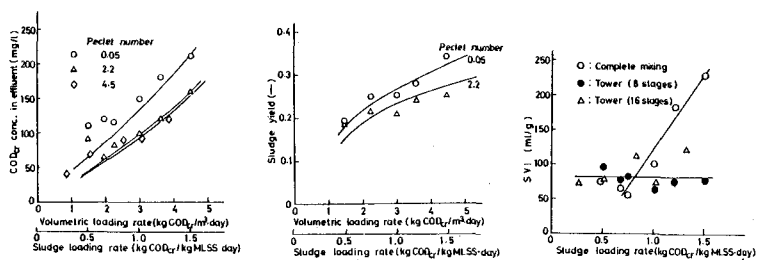


図-2 有機物負荷と(a) 処理水COD_{Cr}, (b) 汚泥収率

(c) 汚泥の沈降性との関係

荷の増大に伴う汚泥滞留時間の減少に起因して原生動物が系外に流出する汚泥負荷 $2 \text{ kg COD}_{\text{cr}}/\text{kg MLSS} \cdot \text{day}$ 以下ではSVI値の顕著な変化は観察されず 100 ml/g 前後の値であった。

3-2. 多段塔曝気槽の処理特性 多段塔型曝気槽において溶存有機物濃度、汚泥の呼吸速度、浮遊細菌濃度、曝気槽入口付近で高く、出口付近に近づくに従って低くなるという傾向を示した。図-3に種々の有機物負荷について定常状態での溶存 COD_{cr} 濃度分布を示しておく。溶存有機物濃度が一定となる反応槽においても汚泥の呼吸速度が低下するという分布が観察されたことから曝気槽入口付近では溶存有機物が活性汚泥に移行（生物吸着）して除去され、その吸着有機物が出口に近づくに従って酸化分解されるものと考えられた。さらに浮遊細菌濃度は出口付近において極めて低かつたが、この結果は出口付近では溶存有機物濃度が低いため細菌の増殖が抑制され、原生動物の捕食作用と凝集作用が卓越するためと考えられた。

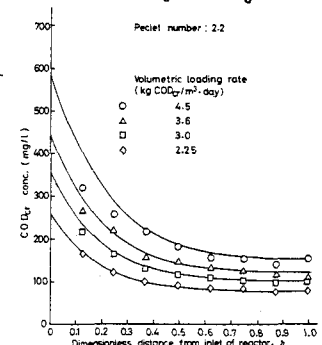


図-3 溶存 COD_{cr} 濃度の槽内分布

3-3 数値モデルによる実験結果のシミュレーションと理論的考察

上述したように活性汚泥法による有機物除去反応は溶存有機物の活性汚泥への吸着と吸着有機物の酸化分解反応との競起反応に従っていると考えられる。今吸着速度が溶存有機物濃度と活性汚泥の総吸着活性点に比例し、吸着有機物の酸化分解速度が Monod 式に従うと仮定すると、
 溶存有機物; $\phi_1 = dC_1/dt = -k_1(1-\theta)GC_3 + \delta k_3 C_3$ ($\theta = \frac{1}{\delta} \frac{C_3}{C_3}$) (1)
 吸着有機物; $\phi_2 = dC_2/dt = k_1(1-\theta)GC_3 - k_2 C_2 / (K + C_2)$ (2)
 活性微生物; $\phi_3 = dC_3/dt = k_2 C_2 / (K + C_2) - k_3 C_3$ (3)
 活性汚泥; $\phi_4 = dC_4/dt = \alpha \cdot dC_3/dt + dC_3/dt$ (4)
 ここで; t : 時間, C_1, C_2, C_3, C_4 : 溶存有機物, 吸着有機物, 活性微生物, 活性汚泥の濃度
 k_1 : 吸着速度定数, k_2 : 最大比増殖速度, k_3 : 自己酸化定数, K : 飽和定数, δ : 菌の増殖効率
 α : 汚泥の有機物変換定数, θ : 吸着有機物の重量換算係数, θ : 吸着率, δ : 最大吸着率

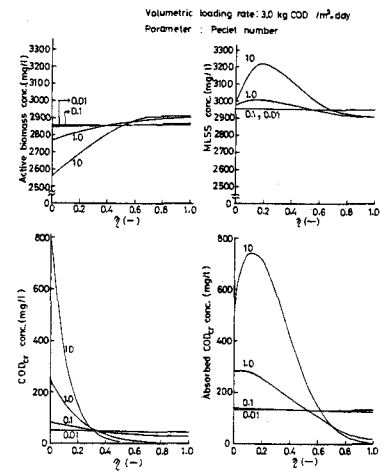


図-4 各成分濃度の槽内分布

また反応槽内の混合特性を表わすモデル式として拡散モデルを用い、上記の動力学モデル式を導入すると、定常状態における物質収支から次の微分方程式が得られる。

$$D \frac{d^2 C_i}{dl^2} - U \frac{dC_i}{dl} + \phi_i = 0 \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad \text{..... (5)}$$

$$\text{境界条件; } D \frac{dC_i}{dl} = U(C_i - C_{i0}) \text{ at } l=0 \quad \text{..... (6)}$$

$$D \frac{dC_i}{dl} = 0 \text{ at } l=L \quad \text{..... (7)}$$

ここで; D : 拡散係数, U : 線速度, l : 曝気槽入口からの距離
 L : 曝気槽の長さ, ϕ_i : 反応速度

(5)式を無次元化し、非線形境界値問題に対するベルマンの擬線形化法によって数値解析を行ない、反応槽内の各成分の濃度分布を求めた。動力学モデル式として Monod 式を用いた場合、槽内 COD_{cr} 分布の実測値をシミュレートできなかったが、吸着反応を考慮したモデル式では図-3に示すように実験値と計算値とが比較的良好に一致するという結果が得られた。さらに処理水質と汚泥収率について実験値と計算値とを比較した結果(図-2(a)と(b))から、本研究で提示した数値モデルによって処理性を予測しうることが明らかになった。各成分の槽内濃度分布の計算結果(図-4)から、曝気槽を押し出し流れに近づけると処理能力が増大することが明らかになった。また吸着有機物含有量とSVI値との関係(図-5)から汚泥の沈降性が吸着有機物含有量に依存することが推察された。許容有機物負荷が汚泥の沈降性に支配されていると考えた場合、完全混合型曝気槽では許容容量負荷率が $2.3 \text{ kg COD}_{\text{cr}}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ であるのに対して、ペクレ数が4以上の曝気槽では $4 \text{ kg COD}_{\text{cr}}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ まで増加させることができるという計算結果が得られた(図-6)。

図-5 吸着有機物含有量とSVI値との関係

図-6 ペクレ数と許容容量負荷率との関係