

水処理生物膜内拡散係数の推定

呉工業高等専門学校	正 員	大橋 晶良
長岡技術科学大学	正 員	原田 秀樹
長岡技術科学大学	正 員	桃井 清至
熊本大学工学部	学 員	○黒川 岳司

1. はじめに

生物膜型水処理装置の設計にあたって、生物膜内拡散係数 D_b は重要な因子となる。今日、この値は既報の実験値より、純水中の拡散係数 D_w の80%の値が採用されたりしている。しかし、実験値は D_w の20~110%の範囲に渡り、80%の理論的な根拠はない。また D_b は生物膜の密度に左右されると考えられるにも関わらず、生物膜密度は考慮されていない。そこで、本研究の目的は D_b と生物膜密度との関係を明確にし、生物膜内の拡散係数を推定することにある。その手法として、まず、多孔性媒質内の拡散モデルを構築し、理論的に多孔性媒質内の拡散係数を把握し、生物膜に適用することによって D_b の算定を試みた。さらに、ビーズやビニロン繊維を用いて多孔性媒質内における拡散係数測定実験を行い、本モデルの適合性を検討した。

2. 多孔性媒質内拡散モデル

フィックの拡散理論における拡散係数は、これの用途、拡散現象の状態等により分子拡散係数 D_w 、内部拡散係数 D_i 、有効拡散係数 D_e の3つに分類され、次のように定義される。

D_w : 媒質(静止流体)内に固体が存在しない場合における拡散係数(純水中の拡散係数)

D_i : 媒質内に固体が存在する場合において、空隙率 ε の影響のみ考慮する場合の拡散係数

D_e : 媒質内に固体が存在する場合において、その存在を無視した媒質内拡散の総括的な拡散係数

D_w , D_i , D_e の相互関係は、

$$D_i = (1/\alpha^2) D_w, \quad D_e = (\varepsilon/\alpha^2) D_w, \quad D_e = \varepsilon \cdot D_i \quad \text{----- (1)}$$

となる。ここに、 α は多孔性媒質の間隙構造の物理的な迂回度を示す。生物膜への適用において、 D_b は D_i または D_e が使用されている。つまり、式(1)より ε , α が求められれば D_b を知ることができる。

そこで、多孔性媒質内の間隙構造をモデル化し、 α の定式化を試みた。多孔性媒質は粗な粒子群内と密な粒子群内とは間隙内での屈曲構造が異なると考え、粗と密な粒子群内それぞれの屈曲モデルを構築した。

まず、粗な粒子群内のモデルの概念を述べる。図-1(a)のような球状粒子群がランダムな状態で存在している多孔性媒質内を考える。ある断面を取り出して考えると、ランダムな配置なので、(b)のように大小様々な断面の分布と

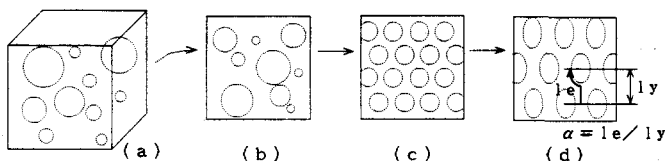


図-1 多孔性媒質内モデル

なる。これを(c)のように粒子平均断面積の大きさの円が規則的に配置されていると仮定する。このとき、球状粒子群の総表面積、体積が等価になるような平均粒子断面は、面積と周長の関係から円ではなく(d)に示すような楕円形となる。すなわち物理的な迂回度 α は(d)において ly に対する le の比であり、次式を得る。

$$\alpha = 1 + (\pi - 2) \cdot \{(1 - \varepsilon) / (2 \cdot 3^{1/2} \cdot \pi)\}^{1/2} \quad \text{----- (2)}$$

また、桿状粒子群においても上述の概念を適用すると上式の球状粒子群と同じ式が得られる。

密な球状粒子群内では、多孔性媒質内を並列細管モデル（媒質内は細管の集まりと考え、細管の総表面積、体積はそれぞれ粒子の総表面積、空隙に等しい）化した。粒子群が六方最密格子配列であるとする、球粒子3個に囲まれた空隙1つの進路は上部一個の球粒子によって3つに枝分かれすると考えられ、3本の細管で受け持つことになり、細管の本数および長さを求めることができる。すなわち、 α として次式が得られる。

$$\alpha = \{3(1-\varepsilon)^4 / (4\pi \varepsilon^3)\}^{1/3} \quad \text{-----} \quad (3)$$

3. 実験方法

内径12cmのガラス容器にビーズまたはビニロン繊維を約10cmの高さまで敷き詰め、水深が3cmとなるように0.01mMのHgCl₂溶液を投入した。その時、媒質層と上層との間には攪拌による移流を防止する目的でろ紙を敷いた。上層溶液中に亜硝酸ナトリウム(0.1mg-N/ml)を15ml添加し、上層水中の濃度が一定になるように攪拌装置によってゆるやかに間欠攪拌(1rpm, 2min回転, 0.5min停止)した。上層溶液中から1mlを適切な時間間隔(4日間で約20回)でサンプリングを行い、上層溶液のNO₂-N濃度の時間的変化を追跡した。

4. 実験結果

実験結果の一例を図-2に示す。図中の各点が濃度測定値で、実線はDeを仮定してCrank-Nicolsonの陰解法により数値計算した値である。Deの算定はフィッティング法を用いた。濃度測定値は実線上にあり、実験は良好に行われたと考えられる。また図示していないが、Deの測定値(ビーズ15回、ビニロン繊維2回)は、式(1)~(3)を用いて算出される理論値とほぼ一致しており、本モデルは拡散係数の推定に有効であると思われる。

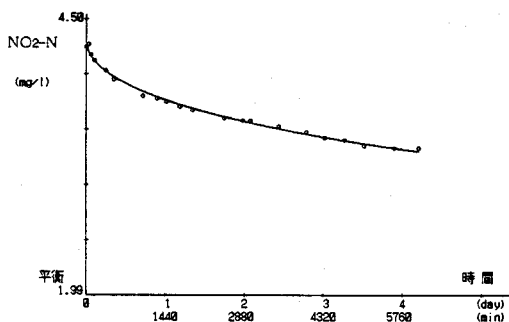


図-2 実験結果の一例

5. 生物膜への適用

生物膜内の空隙率 ε (-)と生物膜乾燥密度 ρ_{bd} は、次式の関係にある。

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{bd}}{(1-\xi)\rho_{bdd}} \quad \text{-----} \quad (4)$$

ここに ξ :含水率, ρ_{bdd} :乾燥細胞の密度(生物乾燥密度/生物乾燥体積)であり、それぞれ75%, 1.3g/cm³の値が報告されている。上式および本モデルにより容易に生物膜内拡散係数Dbを算出することができ、図-3にDbと ρ_{bd} の関係を示した。 ρ_{bd} が増加すると、Dbは小さく、またDiとDe値の開きが大きくなっている。よってDbの見積において、その値を一概にDwの80%とすることには問題があると考えられる。

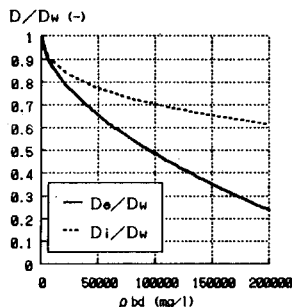


図-3 Dbと ρ_{bd} の関係

6. まとめ

- 1) 生物膜乾燥密度が既知ならば、本モデルにより生物膜内拡散係数を容易に推定することができる。
- 2) 生物膜内拡散係数は、生物膜乾燥密度の増加に伴って減少するため、生物膜内拡散係数の値を一概に分子拡散係数の80%とすることには問題がある。