

回転円板法における生物膜内物質輸送・変換モデルの構築

佐賀大学理工学部 ○学 後藤田和由 正 古賀憲一

佐賀大学低平地防災研究センター 正 荒木宏之

鹿児島工業高等専門学校土木工学科 正 西留 清

1. はじめに

回転円板法の設計法を確立するために多くの実験・理論的検討がなされているが、生物膜内の物質輸送現象解明に立脚した合理的な設計手法に至るまでには未だ検討課題が残されているようである。従来、生物膜内の水質モデルにおいて、物質輸送過程を分子拡散あるいはそれに準じた形式で表現することが一般的であった。しかし、近年の研究成果から、水中部での生物膜内への物質輸送は移流による可能性が高いと報告されている¹⁾²⁾。著者らは、生物膜内物質輸送変換モデルの構築を行ってきており、膜内への移流を考慮したモデルにより、概ね実現象を再現できることを報告している³⁾。本研究では本モデルの生物反応に菌体濃度を考慮し、有機物・アンモニア性窒素濃度分布のシミュレーションを行った。

2. 解析方法

2-1 物質輸送モデル 移流を考慮したモデルを作成するに当たり、生物膜を生物の糸(もしくは板)の様なものの集合体とし、その概念図を図-1 に示す。本研究で扱うような物質輸送変換モデルを構築する場合には、原理的には、移流による体積輸送速度(流量) Q 、空隙面積 A を連続の式と運動方程式から求め、物質保存式に代入し生物膜内の水質計算を行わなければならない。しかしながら、微細かつ複雑な生物膜内の流動現象を定式化し定量的に数値計算を行うことは困難なことから、ここでは、運動方程式を考慮せずに、連続の式と物質保存式により水質計算を行うこととした。

以下にモデルの基礎式を記す。

$$\text{連続の式} \quad \frac{\partial A(t, x)}{\partial t} + \frac{\partial Q(t, x)}{\partial x} = 0$$

$$\text{物質保存式} \quad \frac{\partial A_i C_i}{\partial t} + \frac{\partial S_i}{\partial x} = \pm J_{\text{exc}} \pm R_i, \quad S_i = Q_i C_i + A_i D \frac{\partial C_i}{\partial x}$$

A : 空隙部の面積, Q : 体積輸送量(流量), C : 着目物質濃度, S_i : 物質輸送速度, D : 拡散係数, R_i : 反応速度, J_{exc} : 空隙部と生物糸内部との交換速度

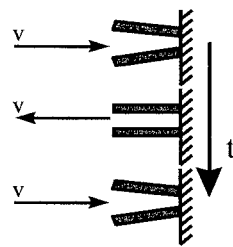


図-1 モデル概念図

2-2 菌体増殖 硝化細菌、有機物酸化細菌ともに菌体増殖は次式で示される Monod 型とした。

$$\text{硝化細菌増殖} \quad \frac{dX_{NH}}{dt} = \mu_{N, \max} \cdot \frac{C_{NH}}{K_{NH} + C_{NH}} \cdot \frac{C_{DO}}{K_{DO, NH} + C_{DO}} \cdot X_{NH} - k_{DNH} \cdot X_{NH}$$

$$\text{有機物酸化細菌増殖} \quad \frac{dX_c}{dt} = \mu_{c, \max} \cdot \frac{C_c}{K_c + C_c} \cdot \frac{C_{DO}}{K_{DO, c} + C_{DO}} \cdot X_c - k_{DC} \cdot X_c$$

X : 菌体濃度, $\mu_{\max}$: 最大比増殖速度, K : 飽和定数, k_D : 自己分解速度,

添字 NH : アンモニア性窒素, c : 有機物, DO : 溶存酸素

溶存酸素濃度は実測値⁴⁾を参考にし、図-2 に示す溶存酸素濃度分布を既知(実測値との一致は良好)のものとして、菌体増殖等の計算を行った。

3. 計算結果及び考察

本モデルを硝化を主目的とした実験結果⁴⁾に適用し、基質及び菌体濃度のシミュレーションを行った。円板の回転速度は1(rpm)である。図-3 にアンモニア性窒素濃度分布、図-4 に有機物濃度分布、図-5 に菌体濃度分布を示す。

このシミュレーション結果から以下のことが分かる。

生物膜表層部(0～150 μm)：液本体でのアンモニア性窒素濃度は有機物濃度と比較して高濃度であり、表層部では溶存酸素も十分に存在するために、硝化細菌濃度が高くなっている。有機物酸化細菌については、液本体並びに表層部での有機物濃度が低いために基質律速となり、増殖が抑制されている。また、水中部のアンモニア性窒素、有機物は生物反応によって減少するものの、空中部に移動すると膜深部から膜表面への輸送によって濃度上昇する。

生物膜中層部(150～400 μm)：中層部では溶存酸素濃度が低くなり、有機物酸化細菌($K_{D0}=0.1\text{mg/l}$)と比較すると溶存酸素に関する飽和定数が大きい硝化細菌($K_{D0}=1.0\text{mg/l}$)は、顕著に溶存酸素濃度の影響を受けるため、有機物酸化細菌は増殖するが、アンモニア酸化細菌は減少する。

生物膜深層部(400～600 μm)：深層部では溶存酸素濃度が膜深部に行くに従って低くなるため、硝化細菌、有機物酸化細菌の増殖が酸素律速により低濃度となる。しかし、深層部においても溶存酸素は若干ながら存在するとしているため、有機物酸化細菌・硝化細菌は低濃度ではあるが存在する。アンモニア性窒素・有機物濃度に関しては、水中部では低溶存酸素濃度により生物反応が酸素律速となり、さらに液相側からの物質輸送も加わるために高濃度となっている。空中部では若干の溶存酸素が存在するために生物反応による消費及び膜表層部への物質輸送によりアンモニア性窒素・有機物濃度は低下する。

以上のことは傾向的ではあるが、実現象を再現している。

4. まとめ

半水没型回転円板付着生物膜内の物質輸送・変換現象、硝化細菌・有機物酸化細菌濃度分布が明らかになると、回転円板法の合理的設計がより容易となると考えられる。本研究では生物膜内への物質輸送に移流を考慮したモデルに生物増殖モデルを加えシミュレーションを行い、基質濃度分布、菌体濃度分布を算出し、概ね実現象に近いと考えられる結果が得られた。

【参考文献】

- 1) 西留：半水没型回転円板法の生物膜内基質濃度分布に関する研究、鹿児島高専研究報告 17 号、1983 年
- 2) 岡部、渡辺等：生物膜内の微粒子の挙動に関する基礎的研究、土木学会第 51 回年次学術講演会、1996 年
- 3) 後藤田、荒木、古賀、西留：回転円板法における生物膜内酸素濃度分布のシミュレーションⅡ、土木学会第 52 回年次学術講演会、1997 年
- 4) 西留、楠田：微小酸素電極による回転円板付着生物膜内酸素濃度の測定に関する研究、鹿児島高専研究報告 21 号、1987 年

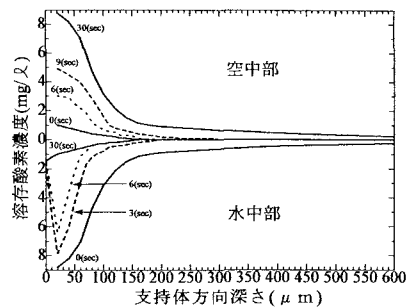


図-2 溶存酸素濃度分布

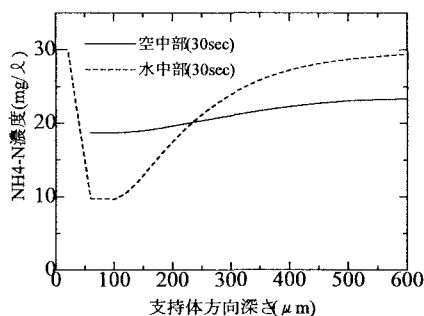


図-3 アンモニア性窒素濃度分布

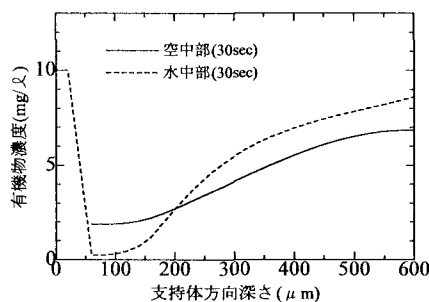


図-4 有機物濃度分布

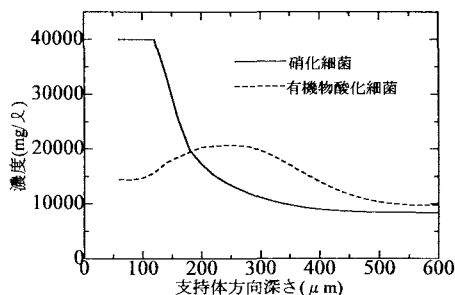


図-5 菌体濃度分布