

武蔵工業大学 学生会員 ○藤巻 直樹

武蔵工業大学 正会員 長岡 裕

武蔵工業大学 学生会員 秋本 大賀

1. はじめに

生物膜の自浄作用を利用した水処理システムにおいて、付着生物膜の増殖、維持管理を行うためには、生物膜近傍の流体運動と生物膜の基質除去特性の関係を調べる事が重要である。

本論文は、振動流体運動を与えることができる小型循環水路を用いて水路側面に生物膜を付着させ、振動流下における生物膜近傍の流れの構造と基質除去特性について実験的研究を行った。

2. 実験装置

実験装置の概略図を Fig.1 に示す。幅 30cm 奥行き 20cm 高さ 80cm のアクリル製の水槽に、幅 20cm 高さ 80cm 板厚 3mm のアクリル板を 8cm 間隔で 3 枚配置したものである。このアクリル板を水槽の中で上下させることによって往復運動を与える。3 枚の板はモーターによって同時に動き、振幅、速度は変化できるものとする。また、排水口（ドレーン）は水槽上端から左右 25cm のところに設け、水深を 80cm にし水路内水の水量は一定（48L）に保ち、マグネットポンプにより 1cm/sec で循環させた。基質はグルコースを主成分とし、マイクロチューブポンプで水路内グルコース濃度が約 10mg/L になるように供給した。

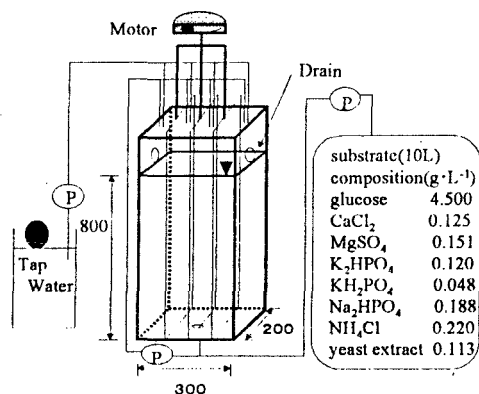


Fig.1 Oscillatory Flow Channel. (unit : mm)

3. 測定方法

水路に糸状に付着した生物膜近傍での流速の測定を L. D. V. により行った。（周波数 100Hz, サンプルング数

4096）測定ポイントは、生物膜端部から 10mm まで 1mm 間隔で、水路中央部まで、20mm, 30mm, 40mm, を 1 回測定した。また、糸状生物膜の厚さは目視計測により、2~5mm であり、レイノルズ数 530~16000, 水路内水温 23~28℃ の範囲で実験を行った。水理学滞留時間の 3 倍時間後に振幅速度を変化させ、同様に測定を行い、グルコース定量法を用いて比フラックス（ f : 単位面積当たり基質消費速度を流水中基質濃度で除したもので、速度次元を持つ）を求めた。比フラックスを(1)式のように定義した。

$$f = \frac{(C_{in} - C_{out}) \cdot Q}{A \cdot C} \quad (1)$$

ただし、 C_{in} : 流入基質濃度, C_{out} : 流出基質濃度 (C : 水路内基質濃度), Q : 基質の流入量 (水道水+基質), A : 生物膜付着面積

流速結果を時間で積分することで振幅を求め、またそれぞれの測定ポイントにおける流速とのコヒーレンスから、流速変動を波動成分と乱れ成分に分離した。

実験におけるレイノルズ数を(2)式により定義した。

$$Re = \frac{u_{hm} \cdot a_{hm}}{\nu} \quad (2)$$

ただし、 ν : 動粘性係数 (cm²/s), u_{hm} : 水平流速振幅 (cm/s), a_{hm} : 水粒子軌道振幅 (cm/s) である。

4. 実験結果および考察

流速測定結果を Fig.2,4 に、Fig.3,5 に流速をスペクトル解析した結果を示す。流速結果から測定ポイント 40mm (水路中央) では、波動による変動のみが明瞭に現れているのに対して、生物膜近傍の測定ポイント 5mm では、波動と乱れが混在していることが観察された。また、スペクトル解析の結果から生物膜近傍では、-3 乗則に従うエネルギーの平衡領域が現れ、また 9Hz 以上の高周波域では 3/5 乗則に従う慣性小領域が存在していることが観察されたことから、2 次元性の強い小規模な渦による乱れと 3 次元性の強い等方的な乱れが混在していると考えられる。

Fig.6, Fig.7 に、レイノルズ数 5200 における、振幅分布と各測定ポイントごとに流速変動を波動成分と乱れ成分

分とに分離した結果を示す。同振幅分布から、生物膜の揺動の影響を受け、生物膜に近づくにつれ振幅、波動成分および乱れ成分が増加していることが観察された。Fig.8 は往復流下におけるレイノルズ数と比フラックスとの関係を、両対数表示で示した。実験結果から生物膜による比フラックスはレイノルズ数の0.83乗であった。Nagaoka¹⁾の実験結果およびモデル式においては、生物膜の比フラックスはレイノルズ数の0.5乗に比例関係であることを示した。

本実験結果と Nagaoka の実験結果との相違は、Nagaoka の実験ではレイノルズ数 460~2400 の範囲で実験を行い、本研究では、層流から乱流への遷移領域である、レイノルズ数 2000~16000 範囲で実験を行ったことから、乱流状態下における拡散係数の影響をより強くうけていると推測される。

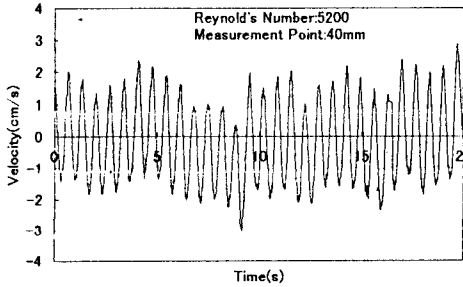


Fig.2 Velocity Fluctuation.

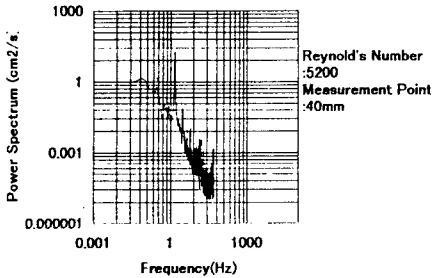


Fig.3 Spectrum of Velocity Fluctuation .

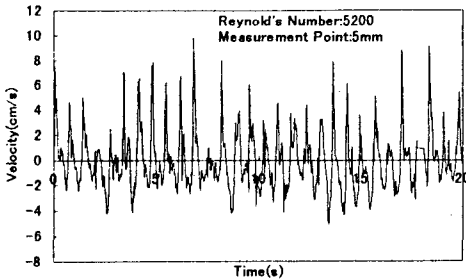


Fig.4 Velocity Fluctuation.

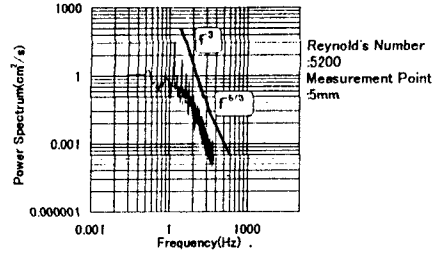


Fig.5 Spectrum of Velocity Fluctuation.

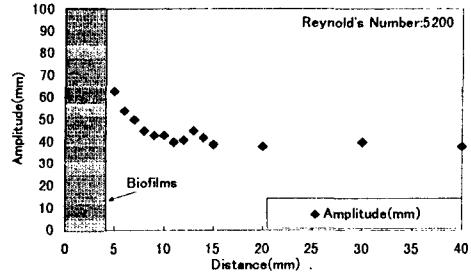


Fig.6 Profile of Amplitude. (Re:5200)

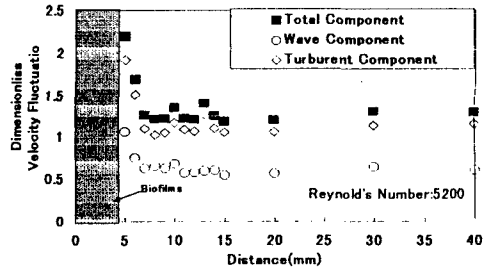


Fig.7 Variation of Wave component and Turbulent component of r.m.s.-Velocity (Re:5200).

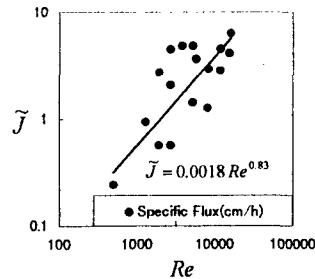


Fig.8 Relationship between Reynold's Number and Specific Flux.

参考文献

- (1)H.Nagaoka, Mass Transfer Mechanism in Biofilms Under Oscillatory Flow Conditions, *Wat.Sci.Tech.*, Vol.36, No.1, pp329-336, 1997