

B-83 膜分離活性汚泥法のメンブレンモジュール表面近傍におけるマイクロ流れ計測の問題点と考察

○澤口 裕則¹・大久保 孝樹^{1*}・山本 和夫²・西野 耕一³

¹函館工業高等専門学校環境都市工学科 (〒042-8501函館市戸倉町14-1)

²東京大学環境安全研究センター (〒113-0033東京都文京区本郷7-3-1)

³横浜国大生産工学科 (〒240-8501神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

* E-mail: ohkubo@hakodate-ct.ac.jp

1. はじめに

膜分離活性汚泥法は、従来の活性汚泥法では最終沈殿池において重力沈殿によって行われる固液分離を微細な孔径を有するろ過膜で行うものであり、有機物の分解は活性汚泥によって行う方法である。膜分離活性汚泥法では活性汚泥法と異なり、最終沈殿池や砂ろ過施設等が必要になることによる施設の削減、及び必要敷地面積の削減によるコスト削減効果の他にも、処理水質の向上等のメリットが期待できる。

しかし、膜分離活性汚泥法はバイオフィアリングと呼ばれる微生物集積による膜分離性能低下現象が問題になっている。現在この分離性能低下現象は、ばっ気によって強い流れを生じさせることによって防いでいる。

本研究では中空糸メンブレンを束ねたメンブレンモジュールにバブルネットを装着させることで、低エネルギーの遅い流れでもメンブレン表面近傍に乱れを生じさせて、集積する微生物の防止を行うこととし、その有効性の確認のためにメンブレン表面近傍におけるマイクロ流れの計測を行った。データ解析において、予期しない微小な振動が見られたため、主な振動源を特定して振動源がある場合とない場合で実験を行い、データ解析をした。

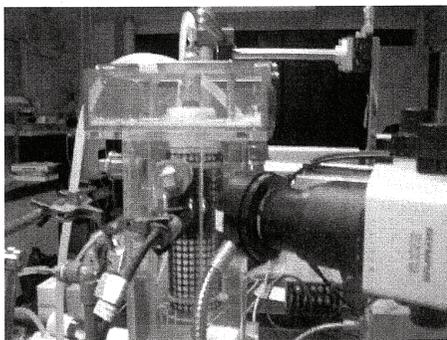


図1 実験装置の写真

2. 実験装置および実験方法¹⁾

(1) 実験装置の構成

本研究で用いた実験装置(図1)は、①流体計測用チャンパー、②貯留槽、③メンブレンモジュール(三菱レイヨン(株))、④実体顕微鏡(オリンパス)、⑤CCDカメラ2台(インターレス)(テクノポート(株))、⑥紫色レーザー(ネオアーク(株))、⑦カットオフフィルター(誠工特殊硝子(株))、⑧コンピュータ(画像取り込みボードMorphis(Matrox Corp.)搭載)、となっており、図2に実験装置のレイアウトを示す。

メンブレンモジュールは、図3のようにスパーサーネット及びバブルネットが装着されたものを bs とし、スパーサーネット及びバブルネットが表面に装着されていないものを nbns として、この2つのケースで実験し、バブルネットの有無におけるメンブレンモジュール表面近傍での影響を調べた。

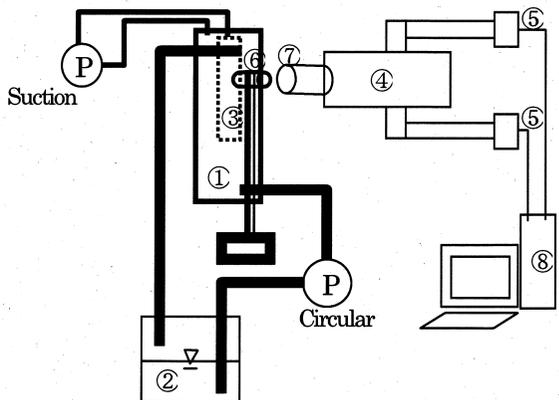


図2 実験装置のレイアウト

(2) 実験方法

流体計測用チャンバーにメンブレンモジュールを設置後、ビニールチューブをチャンバーに装着し、チャンバー内にポンプによって水道水を流す。また、流入口にコックピンを装着することにより、流量を調節できるようにした。混合分散させておいた蛍光パーティクル溶液を貯留槽に入れて、暗室状態にして紫色レーザーをチャンバー横から垂直に照射する。蛍光パーティクルが適度に分散したら吸引を行い、2台の CCD カメラで 1/500 のシャッタースピードで 1/30 秒間隔、4 秒間 (128 枚) 撮影し、蛍光パーティクルの画像を取り込んだ。次にカメラパラメータ作成のために、標定板の画像を 0.25mm 間隔で 5 枚撮影した。また今回は、実験台に吸引ポンプ (Master flex) を一緒に置いた場合 (P) と置かない場合 (NP) とでも実験を行い、吸引ポンプの影響についても調べた。

3. 解析方法

蛍光パーティクルが写ったフィールド画像を 2 つのフレーム画像に分離し、PMC 法によりパーティクル画像の輝度からパーティクルを 2 値化した。2 値化したフレーム画像のパーティクルを番号付けし、PTV 法により同一点認識を行った。カメラパラメータを用いてデータを実際の位置に変換し、流速ベクトルを計算すると 2 次元流速ベクトル図 (図 4) が求まる。エラーベクトルを除去し、それをガウス補間により格子状補間した。この格子状データの流速ベクトル図から任意の点で流速 (u, v) の時系列変化を読み取り、バッフルネットによる振動流の検証を行った。

4. 結果

図 4 は、バッフルネット有りの場合のある瞬間のメンブレン表面上 2mm 以内の流速ベクトル図である。上層 (メンブレン表面上 2mm) では 2.5mm/s の流速がありメンブレン表面 (下方) に行くにしたがって流速は減少している。バッフルネットがある場合は、この流速ベクトルの方向は、時系列データが示すとおり (図 5・図 6) 垂直方向 (y 方向) の流速ベクトル (v) のゆらぎとしても現れる。

図 5・6 はバッフルネットを装着し、実験台に吸引ポンプ (Master flex) を一緒に置いた場合と置いていない場合のメンブレン表面上の約 0.7~1.3mm の位置における流れの揺らぎを表している (以降すべて、流速方向は y 軸方向で v である)。これらの図を比較すると、図 5 では規則正しい高周波の振動流と大きな低周波の揺らぎが見られる。図 6 では大きな低周波の揺らぎが見られるが、図 5 のような規則正しい高周波の振動流はほとんど見られない。これより規則正しい高周波の振動流は吸引ポンプの振動が、実体顕微鏡あるいは流体計測チャンバーに伝わって発生していると考えられる。

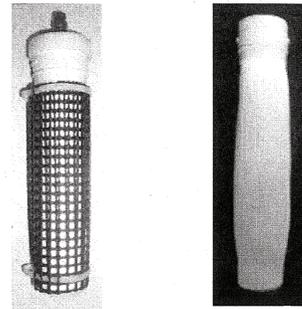


図 3 メンブレンモジュール (左図:bs, 右図:nbns)

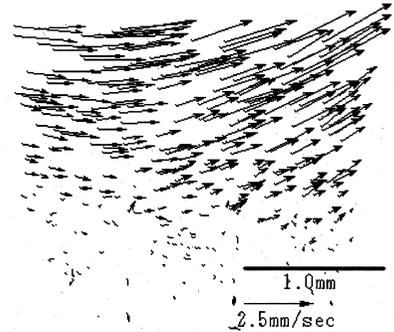


図 4 NP_bs の流速ベクトル図

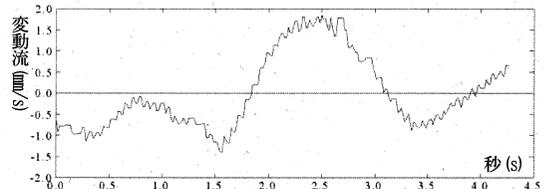


図 5 吸引ポンプを同じ実験台に置いた場合 (bs) の流れの揺らぎ

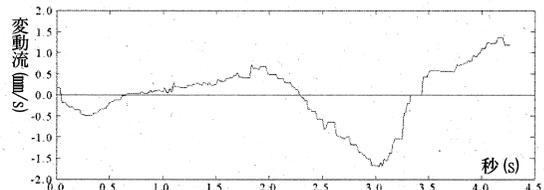


図 6 吸引ポンプを同じ実験台に置かない場合 (bs) の流れの揺らぎ

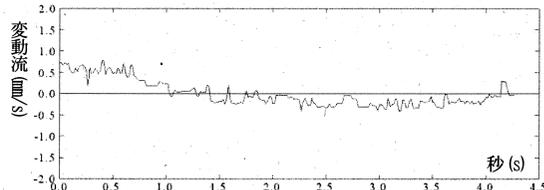


図 7 吸引ポンプを同じ実験台に置いた場合 (nbns) の流れの揺らぎ

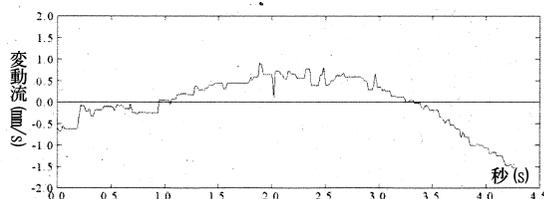


図 8 吸引ポンプを同じ実験台に置かない場合 (nbns) の流れの揺らぎ

次の図7・8は、バッフルネットを装着せずに、同じ実験台に吸引ポンプを一緒に置いた場合と置かない場合のメンブレン表面上の約0.7mm~1.3mmの位置における流れの揺らぎを表している。これらの図を見ても吸引ポンプを同じ実験台に置くと、高周波の振動流が発生しているのが確認できる。

ここで、同じ実験台に吸引ポンプを一緒に置かずに、バッフルネット有り無し（図6・図8）とでも比較すると、図6では大きな低周波の揺らぎが見られるが、図8ではトレンド的な揺らぎのみが発生していることから、この大きな低周波の揺らぎはバッフルネットによって発生しているものと考えられる。この低周波のy方向（流速 v ）のゆらぎは $\pm 1.5\text{mm/s}$ （メンブレン表面上約0.7~1.3mm）の変動流であり、活性汚泥を振動させるのに十分な流れであると考えられる。

図9・10は、バッフルネット有りで実験台にポンプを置いた場合と置いてない場合の流れの揺らぎのパワースペクトルを表している。図9では低周波の周波数と15 (cycle/s) の高周波成分が現れており、図10は高周波成分 (15 cycle/s) が無く、低周波の周波数のみが現れている。このことから図9における15 (cycle/s) の高周波成分は吸引ポンプの振動が現れているものと考えられる。

次の図11・12はバッフルネット無しで実験台にポンプを置いた場合と置いてない場合の流れの揺らぎのパワースペクトルを表している。こちらでも図11のみで15 (cycle/s) の高周波成分が発生しているため、ここからも吸引ポンプの影響であることが確認できる。

5. まとめと今後の課題

今回得られた結果より、バッフルネットは高周波の成分の揺らぎは生成しないが、低周波 (1 cycle/s 程度) の揺らぎを生成する事が確認できた。この低周波の揺らぎが、バイオフィウリングの抑制に効果があると考えられる。

今後の課題としてまず、本実験で気づいたことだが吸引ポンプによる微細な振動でも実験結果に影響が出てしまうことが確認できたため、今後は送水ポンプなどによる振動にも注意を払いながら実験を行う必要がある。

最後に、本実験ではインターレスのカメラ撮影による1/60 秒間隔の奇数線と偶数線の画像を分離し補間することによって1/30 秒間隔の倍の情報が得られることを利点としておこなったが、補間補正による計算によって人工的な振動が加わる可能性があるため、今後はデジタルのプログレッシブカメラを用いてマイクロ流れを測定する計画を立てている。

参考文献：

- 1) Takaki Okubo, Kazuo Yamamoto, Kouichi Nishino, Measurement of Micro Flow and Analysis of Stress on Surface of Compact Hollow-Fiber Module, Proceeding of 5th IWA Specialised Membrane Technology Conference for Water and Wastewater Treatment 2009

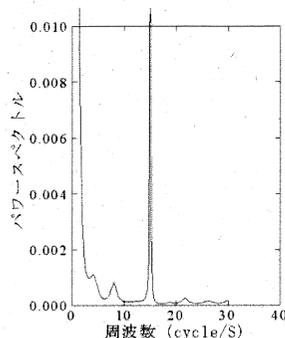


図9 吸引ポンプを同じ実験台に置いた場合 (bs) のスペクトル

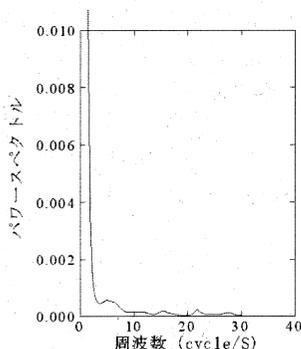


図10 吸引ポンプを同じ実験台に置かない場合 (bs) のスペクトル

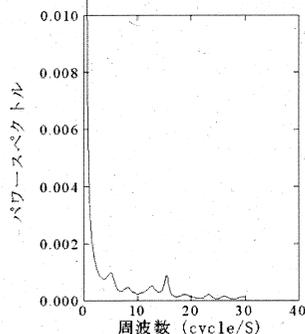


図11 吸引ポンプを同じ実験台に置いた場合 (nbns) のスペクトル

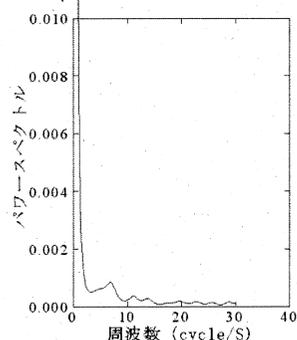


図12 吸引ポンプを同じ実験台に置かない場合 (nbns) のスペクトル