粒子画像流速測定法(PIV)を用いた中空糸膜モジュール内の流動状況の検討

1.はじめに

下水処理方法である膜分離活性汚泥法(MBR:Membrane Bioreactor)で使用する膜の一種である中空糸膜は揺動作用 により可逆的ファウリングを抑制することができる.この 揺動作用による抑制効果は、気泡流が作り出す膜面せん断 応力が影響を与えていると考えられており、

ランムゾーら¹の研究で中空糸膜1本を用いて実験を行った結果. 膜面せん断応力がエアーフラックスに比例する ことを示した. しかし, 平膜と違い揺動作用がある中空糸 膜ではせん断応力のみを基準としてファウリング抑制効 果を評価することは難しく, 中空糸膜モジュール内部での 中空糸膜の揺動変化や流動変化など具体的に検証した事 例が少ない.

本研究では、浸漬型中空糸膜モジュールを模型の作成 を行い、膜モジュールの膜間距離を変化させ、粒子画像 流速測定法 (PIV)を用いてモジュール内における気泡の 挙動および中空糸膜の流動状況の測定を行う.それらの 結果から中空糸膜モジュール内の最適な膜間距離、曝気 風量の解明を目的とする.

2. 実験概要

2.1 実験装置

図1,図2,図3に実験装置の側面図,装置の上面図を 示す.幅475 mm 高さ1000 mm 横475 mm のアクリル製 水槽に幅290 mm 高さ940 mm 横165 mm の膜ユニットが 中心になるよう設定した.その後,水槽を水で満たして 膜ユニットに散気管を固定した装置を浸漬させた.膜間 距離は45 mm,50 mm,55 mm に設定し,散気管はΦ3 mm の穴を塩化ビニルの管の中央に1箇所空けて上向き になるよう設置し,管の片側から空気の供給を行った.

また、本実験では弛緩率を変えて実験を行った.中 空糸を張った状態から少しずつ緩ませることにより, 装置内の流動状況や気泡の挙動が変化するか,測定 するため変化させた.

今回の実験では弛緩率1%, 膜ユニットの縦の長 さを5mm ほど緩めた状態での実験も行った.

東京都市大学	学生会員	○星野 秀太
東京都市大学大学院	学生会員	遊佐 大介
東京都市大学	正会員	長岡 裕



図3 実験装置の上面図

2.2 実験方法

今回の実験では粒子画像流速測定法(PIV:Particle Image Velocimetry)および粒子画像追跡流速測定法(PTV:Particle Tracking Velocimetry)を用いて解析を行った.実験で取得した動画を PTV 解析し,解析で得たデータを PIV に変換し各格子点に数値を当てはめ算出した.

キーワード MBR, 中空糸膜, PTV 解析, 液相流速 連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104 E-mail:g1418076@tcu.ac.jp 水槽の側面から高速度カメラ(K4 カトウ光研社製)を 用いて撮影し,水槽の正面と裏面側からレーザーを中空糸 膜の束と束の間に照射しレーザー面を観測した.高速度カ メラは実験装置から 350 mm の位置に置き,カメラレンズ は 6 mm の高格レンズを用いた.撮影画格は 600×800 ピク セルに設定し,シャッタースピードを 500 fps で 20000 フ レーム(約40 秒間)の撮影を行った.

また, 槽内にはマーカー用のイオン交換樹脂製のトレー サー (ダイアイオン HP20SS 粒子経 75~150µm)を 20 g 混入させて, トレーサー粒子にレーザーを照射させ画像お よび動画の取得を行った.

2.2.1 実験目的

水槽の側面から撮影を行った.側面から撮影を行う利点 としては膜ユニットと膜ユニットの間の空間内における 水流の流動状況や液相流速の計測を行うことができる.撮 影範囲は膜モジュールを上・中・下と三分割になるよう、 目印をつけて測定を行った。

2.2.2 解析ソフト及び前処理について

測定時に撮影した画像および動画は解析ソフト(Flow Expert 2D2C カトウ光研社製)を用いて解析を行った. 測定を開始する前に水槽に定規を入れて撮影を行い、解析時において定規が写った画像から距離補正を行った.

3. 結果および考察

実験で得られた弛緩率別のエアーフラックスと平均液 相流速の関係を図4および図5に示した。

平均液相流速は解析で得た流速の数値を条件別かつ撮 影範囲別に平均し、撮影範囲別に再度平均化することによ り、装置全体の液相流速を算出した。







図5 弛緩率1%による曝気風量と平均液相流速の関係

弛緩率 0%の場合、膜間距離 45 mm と 50 mm 以上に流 速の差が見られた.これは膜間距離を 45mm より広くする と気泡が拡散しやすくなり、流速が大きく上昇したと考え る.

弛緩率 1%の場合、膜間距離 45 mm および 50 mm と 55mm にエアーフラックスを増やすごとに流速の差が見 られた.これはエアーフラックスを増やすごとに直径の値 が大きい気泡が発生しやすくなり、50 mm より広く膜間距 離を取ると膜にあまり接触せず上昇することができるた め、流速に差が出たと考える。

また、弛緩率0%と1%を比較した結果、弛緩率0%の場 合、膜間距離50mmと55mmの流速に大きな差は見られ ないが、弛緩率1%になると膜間距離50mmと55mmの 回帰曲線に差が見られた.これは弛緩率0%では膜間距離 50mmおよび55mmでは膜と気泡の接触に差が出なかっ たため、膜鵜間距離別で流速に差が出なかったが弛緩率を 増やすと膜が気泡と接触しやすくなったため、図4および 図5で違いが出たと考える.

4.まとめ

以下に本研究のまとめを記載する.

1) 弛緩率0%では、中空糸膜の揺動が少ないため一定以上の膜間距離になると流速の差が開きにくくなると考えられる.

2) 弛緩率1%では約2cmの揺動幅が発生して、気泡が通る膜ユニット内側に中空糸膜が撓むようになったため 気泡と膜が接触しやすくなり、弛緩率0%より流速が上昇 したと考えられる.

5. 参考文献

(1) ランムゾー 長岡 裕:気泡径が膜面せん断応力および膜ファウリン
グに与える影響 土木学会論文集 Vol.67 P.11~93, 2012