1. はじめに

平成28年3月31日の時点で,全国における下水 道の普及率は77.6%(下水道利用人口/総人口)とな っている¹⁾. さらなる普及が求められる.日本の下 水処理は標準活性汚泥法が現在の主要となっている. 標準活性汚泥法は曝気を行い微生物を活性化させ有 機物を分解し廃水を浄化している.低コストで行う ことが可能だが,汚泥が沈まずにバルキングが発生 してしまうことが問題としてあげられる.

この問題を解決するために近年では膜ろ過方式の MBR(膜分離活性汚泥法)の導入も行われている. 膜を使った下水処理は従来の標準活性汚泥法と比べ て,施設の小規模化に加え,より高度な下水処理が 可能になる²⁾.しかし MBR にも課題がある.ファウ リングが起こらないように常に曝気を行う必要があ り,またファウリングが起こってしまうと薬品によ る洗浄が必要になる.この洗浄によって費用が掛か ってしまい,導入しにくいのが問題となっている. そのため洗浄をより効率的に行いコストを抑える必 要がある.

近年は中空糸を使った膜モジュールが注目されて いる.特徴として膜支持体が不要のため平膜と比べ 膜面積が大きくより多く処理が可能である.しかし, 中空糸膜モジュールは内部の挙動が見えないために 検討が困難であるため,効率的な運用方法は確立さ れていない.

本研究では実スケール化した中空糸膜モジュール を使用し,膜モジュール上部,下部の液相流速を粒 子画像流速測定法(PIV)を用いて検討し,膜密度や散 気管の距離などの変化による流速の違いを調べ,中 空糸の揺動を検討し,中空糸膜による運転の効率化 を目指す. 東京都市大学 学生会員 山﨑 流星〇 東京都市大学 正会員 長岡 裕

2. 実験概要

(1)実験方法

実験装置の正面図を図-1に、装置の上面図を図-2 に、装置の側面図を図-3に示す. 容積 1720mm× 1000mm×600mmのアクリル水槽に膜ユニットが 中心位置になるよう設置し、水道水に浸漬させた. モジュール下端から 250mm 及び 100mm の位置 に直径 2mmの孔が 10 個空いた塩化ビニール管を 設置し左から空気の供給を行った. 膜密度を変化 させるために膜モジュールの集水部の間隔を 3mm, 15mmに設定し、中空糸のたわみ具合の弛 緩率は 1%とした. カメラは水槽から 1450mm 離 して設置した. また曝気の際に膜モジュールの高 速度カメラ側とその反対から出てくる気泡による 流体への影響を除去するために、樹脂板を膜モジ ュールの高速度カメラ側とその反対側に取り付け た.



キーワード 中空糸膜, PTV









実験では曝気風量を 30 (L/min), 60 (L/min),
80 (L/min), 100 (L/min), 126 (L/min) に設定した.
中空糸膜モジュールは 3 束に分かれていて,高

速度カメラ(K4 カトウ光研社製)を設置した側の エレメントの間にレーザーを照射した.また,膜モ ジュールの中の測定はレーザーの光が内部まで届か ずに測定するのが難しいので,気泡がレーザー光に あたるように両端にレーザー装置(G2000 カトウ光 研社製)を設置した.カメラレンズは12mmの高角 レンズを使用した.撮影画格は800×600 ピクセルに 設定し,シャッタースピード 500fps で 20000 フレー ム(40 秒)の撮影を行った.水槽内にマーカー用の イオン交換樹脂製の粒径250µm以下のトレーサーを 混ぜて,レーザーの光に反射させて撮影を行った.

測定によって取得した画像を解析ソフト(Flow expert 2D2C カトウ光研社製)を用いて粒子画像追 跡流速測定法 (PTV)を用いて解析を行った.解析 を行う前に実際の距離と画像の距離を一致させるた め,測定前に測定エリアに定規を設置して画像を取 得させキャリブレーションを行った.

(2)液相流速の算出方法

PTV 解析は単一粒子の動きを追い,解析する方法 のことである.そのため,解析の際は解析する抽出 粒子のサイズを指定する必要がある.今回の実験で は1~5 ピクセルとして解析を行った.抽出した粒子 を PTV 解析し算出した流速ベクトルを 10×10 ピク セル間隔に区切った座標点上に補間した.また,得 られた流速ベクトルは速度,角度が平均値より 50% 以上誤差のあるものを過誤ベクトルとして消去し, 補間を行った.データ取得箇所は,膜モジュールの 直上,直下とした.

3. 実験結果

モジュール左端から右端までの平均液相流の空間 分布を集水部間隔 15mm, 助走距離 250mm における 曝気風量 126(L/min)を図-4 に, 曝気風量 30(L/min) を図-5 に, 集水部間隔 3mm, 助走距離 250mm にお ける曝気風量 126(L/min)を図-6 に,曝気風量 30(L/min)を図-7 に,集水部間隔 3mm,助走距離 100mm における曝気風量 126(L/min)を図-8 に,にお ける曝気風量 30(L/min)を図-9 に,集水部間隔 15mm, 助走距離 100mm における曝気風量 126(L/min)を図 -10 に,曝気風量 30(L/min)を図-11 に示す.

曝気風量 126(L/min),助走距離 100mm において は、集水部間隔 15mm, 3mm のどちらにおいても下 部の流速の値の変化の挙動は、ある程度同じだった. しかし 250mm の流速の挙動に周期性はみられなか った.助走距離が長いことによってモジュールに生 じた循環流の影響を受けやすくなってしまうことが うかがえる.曝気風量が 30(L/min)の時はどちらの 助走距離においては、どちらの助走距離においても 循環流の影響を受けやすい.また曝気風量に関わら ず集水部間隔 3mm の上部の流速は、15mm と比べ て変動が小さい.これは気泡がエレメントによって 分裂、拡散したために変動が小さくなったと考えら れる.



図-4 曝気風量 126(L/min),集水部間隔 3mm,助走 距離 100mm における平均液相流速の空間分布図



図-5 曝気風量 30(L/min),集水部間隔 3mm,助走距離 100mm においての平均液相流速の空間分布図



図-6 曝気風量 126(L/min),集水部間隔 3mm,助走 距離 250mm における平均液相流速の空間分布図



図-7 曝気風量 30(L/min), 集水部間隔 3mm, 助走距 離 250mm における平均液相流速の空間分布図



図-8 曝気風量 126(L/min), 集水部間隔 15mm, 助走 距離 250mm における平均液相流速の空間分布図



図-9 曝気風量 30(L/min),集水部間隔 15mm,助走 距離 250mm における平均液相流速の空間分布図



図-10 曝気風量 126(L/min),集水部間隔 15mm, 助走距離 100mm における平均液相流速の空間分布

义



図-11 曝気風量 30(L/min),集水部間隔 15mm,助 走距離 100mm における平均液相流速の空間分布図

各条件のエアーフラックスと右端から左端までの 全フレームの平均液相流速の関係を図-12 に示す. ど の条件においても,曝気風量を上げ,エアーフラッ クスを増加させても流速の値が大きく上昇すること はなかった.またエアーフラックスが高い値になる ほど、流速の上昇は少なくなっている.エアーフラ ックスが高いと、曝気による流速の値の上昇効果は、 低くなると考えられる.



図-12 エアーフラックスと平均液相流速の関係図

4. まとめ

中空糸膜状 MBR においてモジュール上部,下部の液相流速を検討した結果以下の事が得られた.

1) 散気管からモジュールまでの助走距離の違いによって気泡が流体の影響を受け、気泡径が変化してしまうため、モジュール下部の流速の値に、変化が生じる.

2) 膜密度が同じであれば,曝気風量を変えても,モジュール上部の流速の値の挙動に違いはあまりみられない.

3) 膜密度が高いと、気泡がエレメントの影響をうけ て分裂し、拡散しやすくなるため、モジュール上部 の流速の挙動の変化が小さくなる.

参考文献

公益社団法人 日本下水道協会:下水処理人口普及率
 20170104 閲覧
 2) 岡崎 稔,谷口 良雄,鈴木 宏明:図解 よくわかる水

処理膜 日刊工業新聞社 20060925 出版