

平膜状浸漬型 MBR において膜間距離が膜面せん断応力に与える影響

東京都市大学 学生会員 ○佐々木 哲哉

東京都市大学 正会員 長岡 裕

1. はじめに

MBR(膜分離活性汚泥法)は分離膜を利用し、活性汚泥と処理水を固液分離することにより、良質な処理水を得ることができる下水処理方法である。水不足問題、膜の低コスト化により、近年注目を浴びている方法である。

しかしデメリットとして、ファウリング(膜詰まり)が発生してしまうことがあげられる。ファウリングが発生すると処理水を得ることができなくなるため、薬品による洗浄が必要となり、コストがかかる。また膜の劣化を引き起こすため、ファウリングをなるべく抑制することが望ましい。MBR では膜面に曝気による気泡流でせん断応力を与えることにより、膜面の洗浄を行っている。よってファウリングの抑制には、せん断応力が重要となる。

平膜を用いた膜ユニットでは省スペース化を図るため、膜間距離(膜の敷き詰める間隔)を小さくすることが望ましい。膜間距離を変えることにより、せん断応力に影響が生じることが推測される。そこで本研究では膜間距離による、せん断応力への影響を解明することを目的とする。

2. 実験方法

実験の概略図を図1に示す。水槽内に水道水を満たし、アクリル製の膜ユニットを浸漬させた。膜ユニットの壁面とアクリル板を平膜モジュールに見立て、この間を曝気領域として実験を行った。条件として、壁面とアクリル板の距離である膜間距離の設定を 2mm, 10mm, 20mm とした。

曝気はエアポンプからの空気を空気流量計で 15～47.5L/min に調整し、散気管から曝気領域内に発生させた。散気管は外径 8mm, 内径 4mm の塩化ビニル製の管に $\Phi 0.5\text{mm}$ の穴を 53 箇所空けたものを使用した。

せん断応力の測定は水槽の底から 68.5cm の位置に設置したせん断応力計(SSK 社製 slow-1)を用いて行った。せん断応力計の感度部は直径 10mm の円盤

盤である。流速の測定は DANTEC DYNAMICS 社製レーザードップラーを用いて測定した。またデジタルカメラを用いて静止画及び動画を撮り、画像から気泡の面積を求め、2次元で気泡径を算出した。

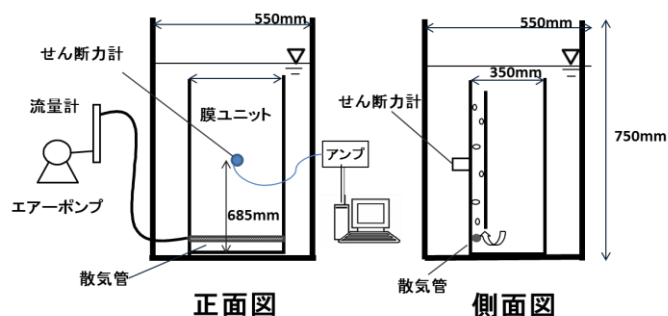


図1 せん断応力実験装置

3. 測定結果

3. 1 断面平均流速

図2にエアフラックス(曝気量/曝気領域の断面積)0.15m/sにおける、各条件の気泡流の流速分布を示す。なお、膜間距離の中間地点で流速は最大になり、流速分布は左右対称になると仮定し、測定は壁面から中間地点までで行った。流速分布を回帰し、得られた回帰式と式(1)を用いて、断面平均流速の算出を行った。

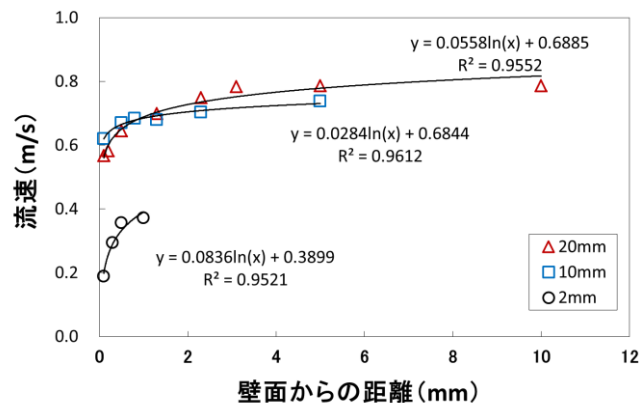


図2 エアフラックス 0.15m/s における流速分布

キーワード MBR, せん断応力, 膜間距離, ファウリング, 気泡

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL 03-5707-0104 E-mail : g0818049@tcu.ac.jp

$$\bar{v} = \frac{1}{d} \int_0^d v(y) dy \quad (1)$$

$\bar{v}$: 断面平均流速(m/s), d : 膜間距離(mm), v : 流速(m/s), y : 壁面からの距離(mm)

横軸にエアフラックスを取り, 各膜間距離における気泡流の断面平均流速を図3に示す. 膜間距離20mmにおける断面平均流速が大きく, 2mm が小さくなったが, これは壁面の摩擦による影響だと考えられる.

3. 2 セン断応力

図4にせん断応力計で測定された実測値と, 式(2), (3)²⁾を用いて断面平均流速から算出した計算値を示す. なお, 実測値は気泡の影響を考慮した気液二層流であり, 計算値は液相のみを考慮した単層流として, 考察を行った.

$$\tau = \frac{1}{8} f \rho \bar{v}^2 \quad (2)$$

$$f = \frac{0.316}{\text{Re}^{1/4}} \quad (3)$$

τ : 壁面せん断応力(Pa), ρ : 水の密度(kg/m³), $\bar{v}$: 断面平均流速(m/s), f : 摩擦損失係数, Re : レイノルズ数である. なお, 壁面を滑面として式(3)を用いた.

せん断応力は流速に大きく依存するため, 流速の小さい条件2mmのせん断応力は小さくなった. 条件10mm及び20mmでは, 10mmの方が摩擦損失係数が大きくなるため, せん断応力が大きくなったと考えられる.

本実験で使用した散気管からは曝気量に関わらず, 気泡径が約3.8mmの気泡が一様にでる. 気泡の影響を検討するため, 図5の縦軸に実測値/計算値(気液二層流/単層流), 横軸に気泡径/膜間距離を取ったものを示す. なお, 条件2mmでは気泡径が膜間距離よりも小さく, 気泡が潰れて上昇する. 図5から, 曝気領域に占める気泡の割合が大きいほど, 気泡の影響がせん断応力に大きな影響を与えると示唆される. 膜間距離2mmでは気泡がせん断応力に及ぼす影響は大きかったが, 流速が小さくなったため, せん断応力は大きくなかった. 気泡径/膜間距離を1に設定した場合, 流速が減少せず, せん断応力が最大限に得られると推測する.

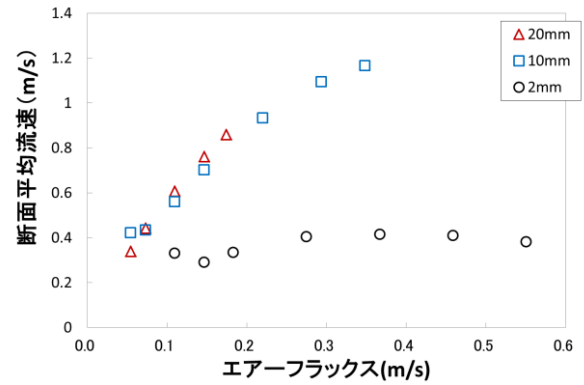


図3 膜間距離が断面平均流速に及ぼす影響

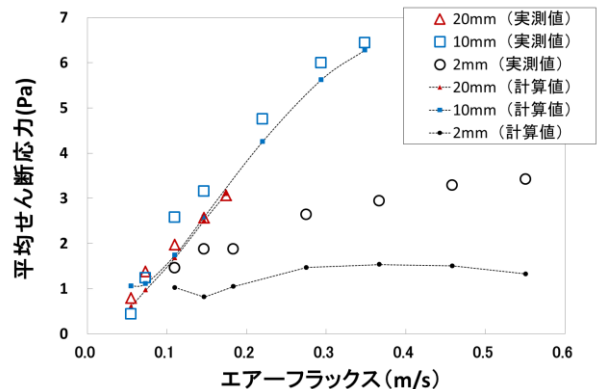


図4 実測値及び計算値の平均せん断応力

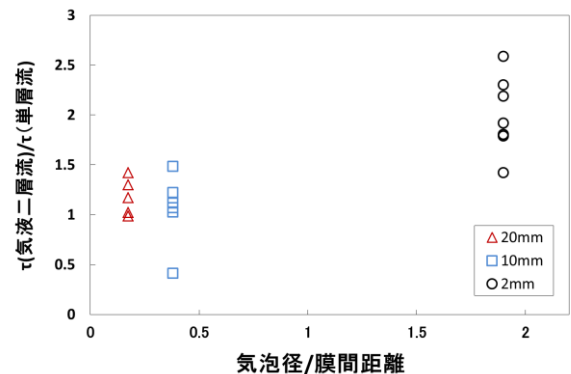


図5 気泡がせん断応力に及ぼす影響

4. まとめ

以下に本研究のまとめを記載する.

- ・せん断応力は液相の流速に大きく依存し, 気泡径/膜間距離が1を超えるような場合は流速が小さくなり, せん断応力も小さくなった.

- ・膜間距離に対する気泡が大きいほど, 気泡がせん断応力に及ぼす影響が大きくなった. 膜間距離を変えることにより, 気泡が曝気領域に占める割合が変わるため, せん断応力に影響を及ぼした.

5. 参考文献

- (1) ランムゾー, 李泰日, 長岡裕: 平膜状浸漬型 MBR モジュールの膜間距離および 混合液粘度が膜面せん断応力に与える影響. 環境工学論文集, Vol.46, pp.637-644, 2009.
- (2) 日野幹雄: 明解水理学, pp. 173-178, 丸善株式会社出版, 1983