

中空糸膜を用いた浸漬型膜分離活性汚泥法における膜面に働くせん断応力の評価

武蔵工業大学 学生会員 張 偉

武蔵工業大学 正会員 ○長岡 裕

1. 研究目的及び背景

本研究では、浸漬型膜分離活性汚泥法において、気泡流より膜面に発生するせん断応力の観点から、曝気風量とせん断応力の関係および膜モジュール内部の流体構造を調査し、曝気風量の変化に対する洗浄力への影響についての評価をまとめることで、膜分離活性汚泥法における定量化の曝気洗浄システムを構築することを目的とする。

2. 実験装置及び実験方法

Fig. 1 に実験装置の概略図を示す。実験装置は、アクリル製の水槽 (1820mm×320mm×298mm) である。この水槽内に膜糸 (1 本) 及び膜ユニットを設置した。使用する中空糸膜は、三菱レイヨン社製 PVDF 膜、直径 2.8 mm、長さ 795 mm、1 本当たりの膜面積は 6990 mm² である。散気管は、長さ 182 mm の塩ビ管に 0.5 mm の穴を 9 mm 間隔で 3 列、53 箇所開けたものを 2 本使用し、水槽の底から 260 mm の位置に平行に設置した。膜糸及び膜ユニットは水槽の底から 300 mm の位置に設置した。応力を測定する為の 2 分力計は水槽の中央部に設置した。実験用水は水道水 (20℃) に粘性剤 (ソアギーナ ML380) を入り、異なる粘性条件を作り、回転円筒型粘度計 (RION VISCOTESTER VT-03) を用いて粘性度を測定した。中空糸膜を実験用水に浸漬させ、曝気量を 10 L/min から 35 L/min に変化させながら、せん断応力を測定した。2 分力計からの出力はアンプ、AD 変換機、パソコンに取り組みで解析を行った。測定は二分力計、LDV 共にサンプリング周波数 100 Hz、データ数を 2¹⁴ 個とし、実験を行った。

膜モジュールの実験では Fig. 2 のように膜モジュールの中心部の外側と内側の膜糸をそれぞれテスト膜糸とし、二箇所において調査した。

気泡流の液相流速の測定には 2D レーザードップラー流速計 (LDV) を用いた。レーザードップラー流速計は、移動する粒子による光散乱のドップラー効果

キーワード 膜分離活性汚泥法, せん断応力, 気泡流, 境界層

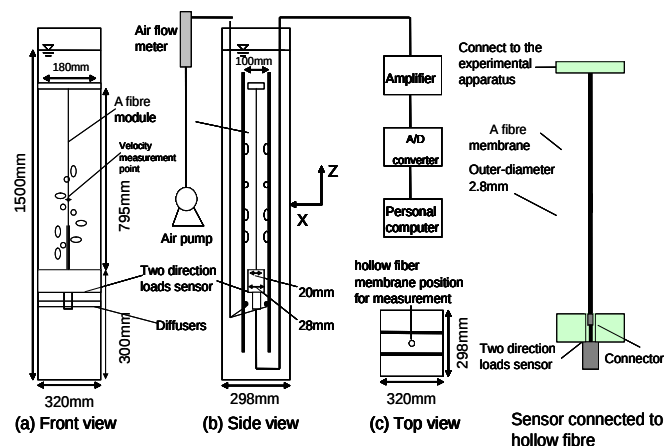


Fig.1 Experimental set-up

を利用し、粒子速度を検出するものである。測定点は 2 分力計から 40 cm、膜糸から 1.0 cm の位置に設けていた。曝気風量が 5 L/min から 45 L/min に変化させながら実験を行った。

3. 実験結果及び考察

Fig. 3 に膜糸 (1 本) の実験で四つの引張状態での鉛直方向時間平均せん断応力を比較したものを示す。曝気風量の増加につれて鉛直方向の時間平均応力は増加することを示した。また、異なる引張状態で鉛直方向時間平均応力の変化を見られなかった。

Fig. 4 に膜糸 (1 本) の実験で四つの粘性条件での鉛直方向時間平均応力を示す。粘性が高くなると、せん断応力が大きくなることがわかった。

Fig. 5 は膜モジュール実験で設置した二つのテスト膜糸に働く応力の比較を示す。図より、位置が違っても応力の変化がほぼ一致となることがわかった。曝気風量の増加に伴い平均応力は増加しているが、その値が下向きの力であることが確認され、センサー付近に下向きの流れが膜糸に大きい下向きの力を与えたと考えられた。

Fig. 6 に曝気風量と時間平均速度の関係を示す。

Fig. 7 は膜モジュール実験での応力の実測値と計算された膜面摩擦応力の関係図である。式 (1), (2),

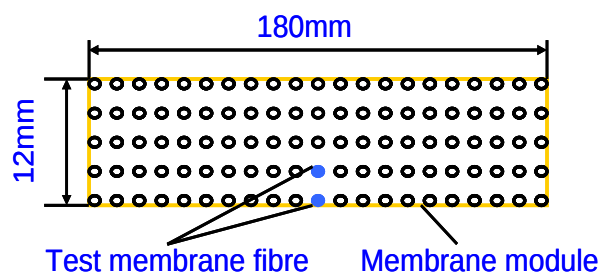


Fig.2 Position of two test hollow fibres on membrane module experiment

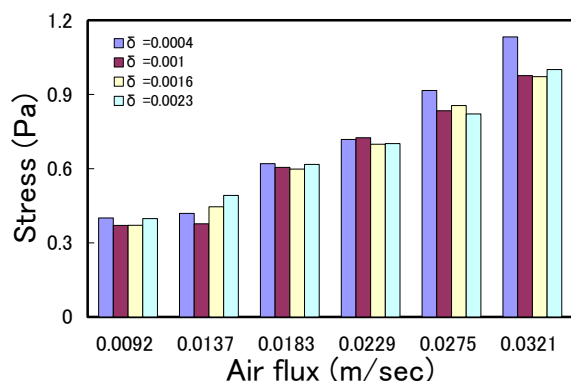


Fig.3 Relationship between air flow rate and time-averaged stress

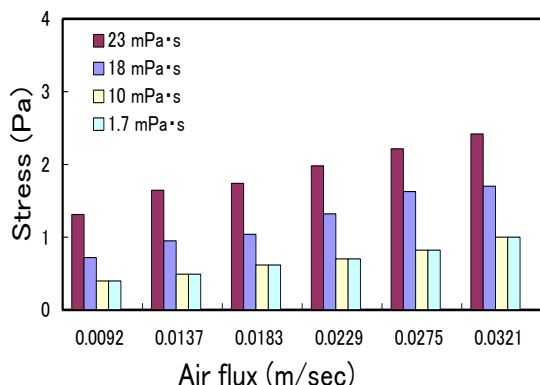


Fig.4 Relationship between air flow rate and time-averaged stress

$$R_e = \frac{U_\infty l}{\nu} \quad (1)$$

$$C_f = 0.074 R_e^{-1/5} \quad (2)$$

$$D = C_f \rho U_\infty^2 l / 2 \quad (3)$$

(3) は单相流における境界層経験式であり、このような式を用いて、液相流速から膜面摩擦応力が推測され、実測値が計算値より大きいことがわかった。これは曝気により膜糸が揺れる、曝気量が大きくなると揺れが激しくなり、上昇流の気泡が膜糸に当たった際に、膜面に抗力を生じると考えられる。

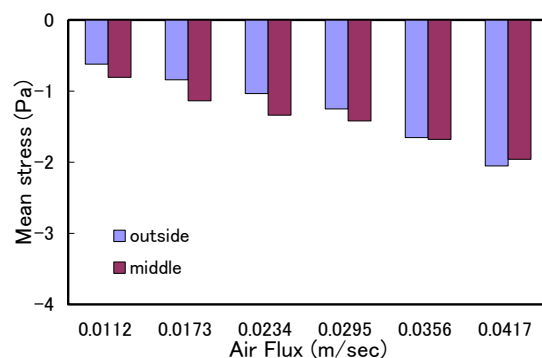


Fig.5 Relationship between out-side and middle-side

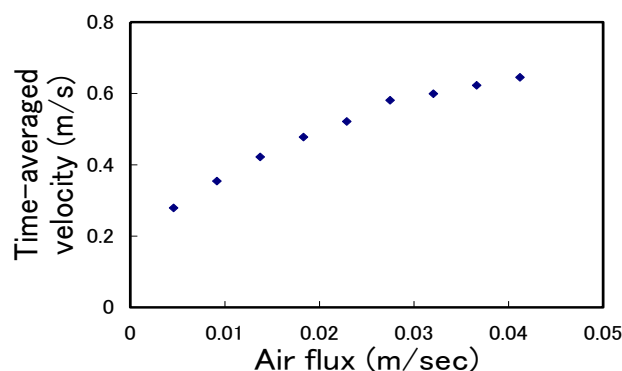


Fig.6 Relationship between air flow-rate and time-averaged velocity

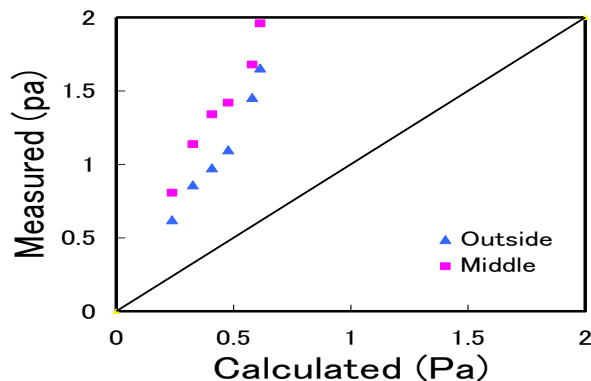


Fig.7 Relationship between calculated shear stress and measured shear stress

4. まとめ

本研究は、浸漬型膜分離活性汚泥法における膜面洗浄力について、以下の結論が得られた。

せん断応力は引張強度及び位置に依存しないこと、粘性が高くなるとせん断応力が大きくなることがわかった。境界層経験式より、液相流速から膜面摩擦応力が推測でき、実測値が計算値より大きいことがわかった。

参考文献

- 1) (社)日本水環境学会：膜を利用した水再生，技報堂出版株式会社，2008年2月