

## 気泡流が浸漬型中空糸膜に与えるせん断応力の発生メカニズム

武蔵工業大学 学生会員 黒坂正和，武蔵工業大学 学生会員 飯尾尚弘  
 武蔵工業大学 正会員 長岡 裕，三菱レイヨン(株) 井手口誠  
 三菱レイヨン(株) 小林真澄

## 1.はじめに

膜分離活性汚泥法における膜面の洗浄には，気泡流により，膜表面に作用するせん断応力が大きく影響している．本研究は，垂直に設置した中空糸膜に作用する応力を水平方向，水深方向の2方向で測定し，空気量が中空糸膜に与えるせん断応力の影響を明らかにすることを目的とした．

## 2.実験装置及び実験方法

Fig.1, Fig.2 に実験装置概略図を示す．中空糸膜(ポリエチレン製MF膜)は直径 540 $\mu\text{m}$  のものと，直径 780 $\mu\text{m}$  のものを使用し，1本単独のものとして3本束ねたものを縦に設置して測定を行った．ディフューザにはエアストーン型のもを用い，気泡が安定して上昇するように，平行に2本設置した．2方向荷重の測定には SSK 社製二分力計(LV30-1)を用いた．測定条件を Table1 に示す．

Table1 Experimental condition

	Case1	Case2	Case3	Case4
Air flow-rate(L/min)	5.0 20			
Outer diameter( $\mu\text{m}$ )	540	540	780	780
Inner diameter( $\mu\text{m}$ )	350	350	540	540
Length(mm)	378	380	377	371
Number of membrane	1	3	1	3

中空糸膜の張力を一定にするため，基準長さを設定した．3.94(GPa)の引張り応力を作用させたときを基準長さとし，その 99.7%で設置した．

水道水を満たした実験槽内に装置を設置し，気泡流を発生させ，水平(X軸)方向，水深(Z軸)方向の測定を行った．また各空気量で4回データを取り，平均値を計算した．また気泡流を発生させず，水道水が静止した状態における出力値によりゼロ点補正を行った．

応力の変換は，測定値を中空糸膜の表面積で除すことで求めた．3本束ねたものは，膜1本の表面積を

キーワード： 膜分離活性汚泥法，気泡流，せん断応力

連絡先： 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号 武蔵工業大学 TEL 03-3703-3111 (内線 3257)

3倍した値を用いた．

測定した応力は，時間変動をする．そこで式(1)の計算式で求める  $\sigma_3$  を，応力の測定結果の評価指標とした．

$$\sigma_3 = (\text{平均値}) + (\text{標準偏差}) \times 3 \quad (1)$$

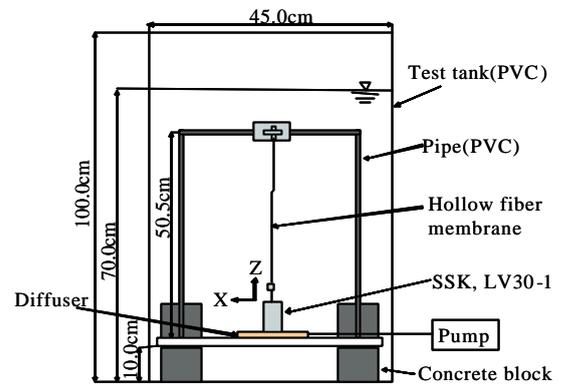


Fig.1 Experimental set-up(Front view)

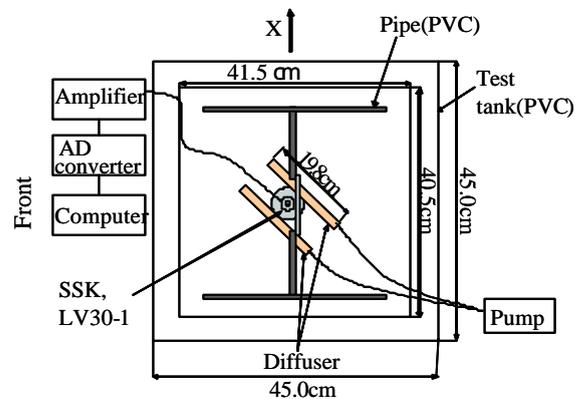


Fig.2 Experimental set-up(Top side view)

## 3.実験結果及び考察

Fig.3 に外径 540  $\mu\text{m}$  - 1本における空気量 20(L/min)での経時変化グラフを示す．水平方向の測定値はゼロ付近を推移している．この原因として考えられるのは，中空糸膜を囲うようにディフューザを平行に設置しているため，水平方向に作用する応力が打ち消しあっているためであると考えられる．一方

水深方向は、水平方向よりも時間平均値が上回っていることが分かる。これはほぼすべての Case において確認された。

540 μ m-1 本の条件の下で測定された水深方向応力の時間平均値と、式(2),式(3)より計算される値と比較した。

$$t_0 = fr \frac{\bar{v}^2}{8} \quad (2) \quad , \quad f = 0.316 Re^{-1/4} \quad (3)$$

$t_0$  : 時間平均せん断応力(Pa) ,  $f$  : 摩擦損失係数 ,  
 $\rho$  : 水の密度 ,  $\bar{v}$  : 水流速 (= 気泡上昇速度) ,  $Re$  : レイノルズ数 ( $Re = \bar{v}D/\nu$  ,  $D$  : 代表長さ ,  $\nu$  : 水の動粘性係数)

気泡上昇速度の測定は、VTR で録画した映像から、一定区間内における気泡の通過時間を測定することにより求めた。代表長さとしては、気泡が発生・上昇する範囲(直径 18.0cm)を用いた。Table 2 に測定した気泡上昇速度と空気量の関係を、Fig.4 に実験によって測定した値と式(2)、式(3)から計算した値の関係を示す。Fig.4 から空気量 5(L/min)と、空気量 20(L/min)での比較を行うと、空気量 20(L/min)の条件の方が、より実測値が計算値に近づく結果となった。このことは気泡の上昇速度と、水の流速の間に差があったためではないかと考える。

Fig.5 に水深方向における、中空系膜 1 本と 3 本束ねた条件での  $\sigma_z$  と空気量の関係図を 540 μ m , 780 μ m それぞれ示す。中空系膜が単独 1 本の場合では、空気量が増加するにつれて直線的に  $\sigma_z$  も増加する傾向を示した。また中空系膜外径による差がほとんど見られなかった。

膜を 3 本束ねた条件では、780 μ m では空気量の増加に伴い、 $\sigma_z$  も線形に増加しているが、540 μ m では 2 次曲線的に増加した。これは膜が細く揺動性が高いと考えられる 540 μ m の中空系膜では、空気量の増加により、束により重なっていた面積が徐々に小さくなり、気泡流の影響を受けやすくなったためであると考えられた。直線的に増加した 780 μ m 単独 1 本と、膜を 3 本束ねたものを比較すると、1 本のものより、3 本の方が増加傾向が緩やかであった。これは上記でも触れたが、束ねてある状態では重なりあう部分が存在するため、気泡流の影響を受け難かったためであると考えられる。

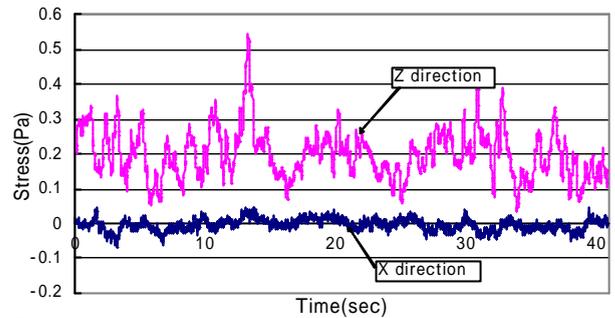


Fig.3 Variation of Stress (540 μ m -1, 20L/min)

Table 2 Relationship between Air flow-rate and Bubble rise velocity

Air flow-rate(L/min)	5	10	15	20
Bubble rise velocity(m/sec)	0.289	0.298	0.328	0.322

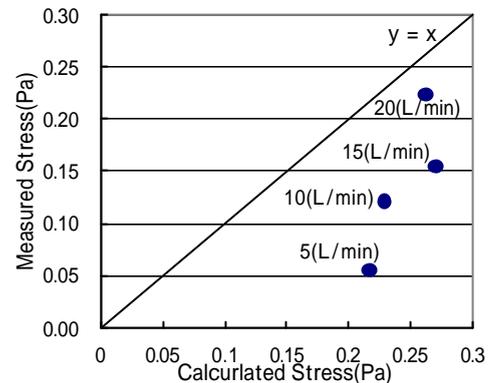


Fig.4 Relationship between Measured Stress(540 μ m -1, Z direction) and Calculated Stress

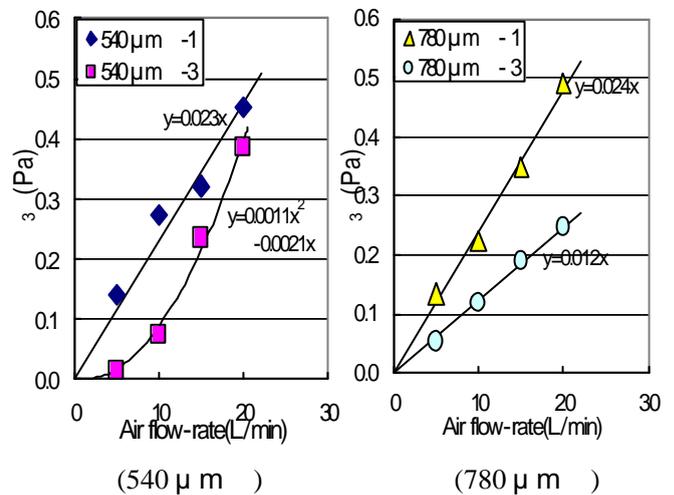


Fig.5 Relationship between  $\sigma_z$  and Air flow-rate (Z direction)

4.まとめ

中空系膜に作用する水深方向の応力は、膜の外径によらなかった。また空気量の増加に伴い、線形に応力の増加傾向を示したが、揺動性が高いと考えられる外径 540 μ m 中空系膜を 3 束ねたものでは 2 次曲線的に増加した。単独で 1 本存在するものよりも、膜を 3 本束ねた方が、作用する応力は小さくなった。