

# 気泡および気泡流が壁面に与えるせん断応力に関する実験的研究

武蔵工業大学 学生会員 宮本 祐介  
 武蔵工業大学 正会員 長岡 裕  
 武蔵工業大学 正会員 田中 厚至

## 1. はじめに

平膜を導入した膜分離法による浄水処理の効率的なシステム開発として、処理過程での課題とされている膜面への分離濁質の付着堆積に対しては、気泡を膜面に接触させる方法（エアスクラビング）により、これらを効果的に抑制できると考えられる。気泡による膜面堆積物の剥離にはさまざまな要素が関係していると考えられるが、その1つとして気泡の膜面通過時におけるせん断力を明らかにすることは重要である。本研究では気泡上昇に伴う膜面近傍に働くせん断力の測定および上昇挙動を把握することにより、剥離メカニズムの解明を試みることを目的とする。

## 2. 実験装置および実験方法

Fig.1, Fig.2 に実験装置の概略を示す。有効容積 202.5L (45cm × 45cm × 100cm) の水槽を水道水で満たし、下方の塩化ビニル管ノズルからポンプにより壁面に沿って気泡を発生させた。測定は底面より上方 70cm に直径 10mm のせん断力センサーを設置し、サンプリング周波数 20Hz, サンプリング数 128 で測定した。気泡はノズルを変えることにより大きさを変化させノズル 1 は横向き状態で気泡径 6.6mm ~ 15.1mm の単一気泡、ノズル 2 は斜め下向き状態で 27.8mm ~ 58.3mm の単一気泡を発生させ、ノズル 3 は 15mm ~ 30mm の気泡流を発生させるのに用いた。気泡径はメスシリンダーを用いて体積を測定し体積相当径に換算して表した。

Table1 に実験条件を示す。Case1 は異なる大きさの単一気泡を発生させ気泡径がせん断力に与える影響について検討した。Case2 では気泡流を発生させ、前後左右を囲うことで気泡の上昇挙動に制限を与え実際に平膜を浸漬させた状態に見立て、ボイド率 (= 気泡体積/気泡の流路体積) を変化させてせん断力を

測定した。

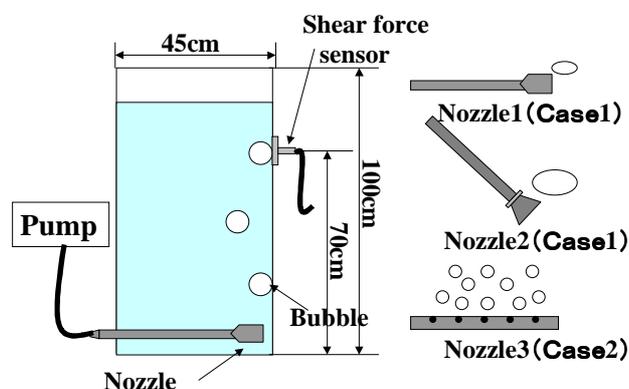


Fig.1 Experimental setup

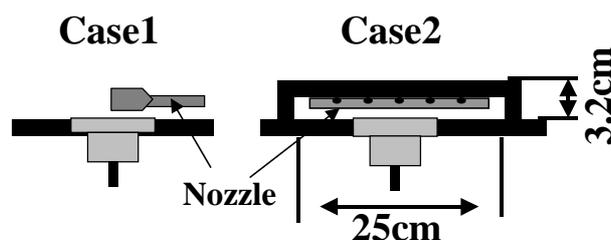


Fig.2 Bubble rise condition

Table1 Experimental condition

	regime	bubble area	diameter(mm)	void rate(%)
Case1	single bubble	free	6.6~58.3	
Case2	bubbly flow	limited	15~30	2.66~5.88

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 気泡のせん断応力

せん断応力の算出においては気泡径 11.0mm 以上は、センサーよりも面積が大きいためせん断力をセンサーの面積で除し、6.6mm は逆に小さいため気泡そのものの面積で除して表した。Fig.3 に気泡径 58.3mm におけるせん断応力の経時変化の一例を示す。グラフのピークをセンサー通過時とし、上昇方向を正に安定している部分との差をせん断応力として読み取った。気泡通過時の特徴はせん断応力が一度下向きに働いてからピークに達する傾向があり、

キーワード：単一気泡，気泡流，せん断応力，気泡径，ボイド率

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

他の気泡径においても同様の特徴がみられた。

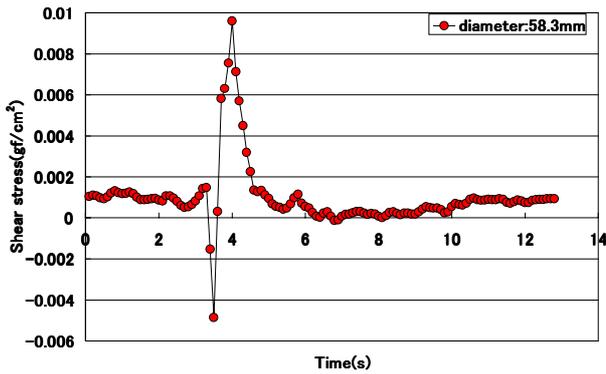


Fig.3 Variation of shear stress ( Case1 )

### 3.2 単一気泡におけるせん断応力

Fig.4 にせん断応力と気泡径の関係を示す。気泡とセンサーの距離が一定でないためせん断力にばらつきが見られたので分散も合わせて示した。分散の上限は気泡がセンサーからの距離が近い状態であり、下限はセンサーから離れている状態である。気泡径 58.3mm を除いては分散の大きさに大きな違いが見られなかった。また気泡径増大に伴いせん断応力の増加が見られほぼ比例関係の傾向が得られた。

### 3.3 気泡流におけるせん断応力

Fig.5 に気泡流におけるせん断応力の経時変化の一例を示す。点線部分までを流れによる影響、波形部分を個々の気泡による影響とすると気泡流のせん断応力は流れと気泡の両方の要素が働いていると考えられる。

Fig.6 にせん断応力（平均値，最大値，最小値）とボイド率の関係を示す。ボイド率の増加に伴いせん断応力は増加する傾向が得られた。また気泡径はボイド率が小さい時は 15mm ~ 20mm 程度で均一で、ボイド率の増加と共に気泡同士の結合などの影響で大小まばらになった。ここで径が均一な気泡流におけるせん断応力の最大値と最小値の差を見ると 0.002gf/cm<sup>2</sup> ~ 0.003gf/cm<sup>2</sup> であり、Fig.4 における単一気泡 15mm ~ 20mm のデータに近いことが分かる。従って Fig.6 の最小値は流れによるせん断応力を示し、ボイド率の増加に伴い大きくなっていることから気泡流におけるせん断応力は気泡よりも流れによる影響の方が強いと考えられる。

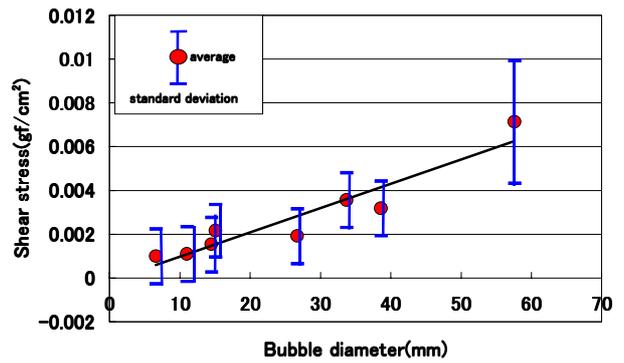


Fig.4 Relationship between shear stress and bubble diameter ( Case1 )

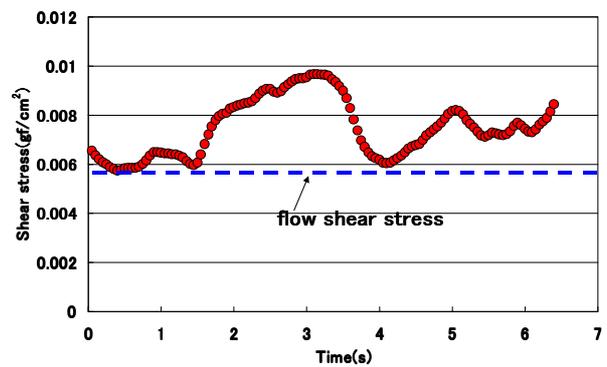


Fig.5 Variation of shear stress ( Case2 )

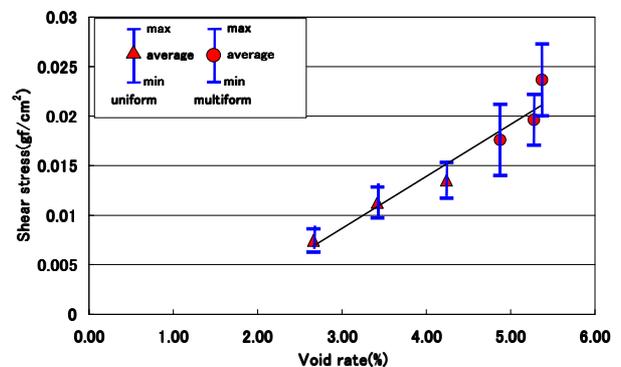


Fig.6 Relationship between Void rate and shear stress ( Case2 )

## 5. まとめ

単一気泡において気泡径とせん断応力はほぼ比例関係であることが定量的に示された。

気泡流においてボイド率の増大に伴いせん断応力が増加することが定量的に示された。また、せん断応力は気泡そのものよりも流れによる影響の方が強いことがわかった。