

マイクロバブル気泡塔に関する研究

A study on micro bubble column

正 社河内 敏彦 (三重大院) ○ 内山 道之 行方 宏
正 辻本 公一 正 安藤 俊剛

Toshihiko SHAKOUCI, Mie University, Kurimamachiya-cho 1577, Tsu-shi, Mie
Michiyuki UCHIYAMA, Hiroshi NAMEKATA, Koichi TSUJIMOTO, Toshitake ANDO

Key words: Micro bubble, Micro-bubble column, Gas-liquid flow, Aeration, LDA

1. まえがき

気泡塔は、液を連続相、ガスを分散相（気泡として分散）とする気液接触装置であり、装置構造が単純で操作が簡単であるため、気液反応装置、排水・排ガスの処理装置、発酵槽・培養槽などで広く利用されている。

本研究では、気泡塔の形状を排水処理の曝気槽でよくみられる長方形断面とし、また、液混合にはエアリフト式を採用し、気泡をマイクロバブルとして流入させた場合の溶存酸素量の変化を気泡流に起因して誘起される流れとの関係において明らかにする。

2. 実験装置と方法

2.1 実験装置

Fig.1 に、実験装置の概略を示す。ポンプ⑤によって加圧されたタンク③からの水は、流量調節バルブ④、液体用浮遊式流量計⑥を経た後、水槽①の底面から鉛直上向き方向に設置された2本の直径2.0mmのマイクロバブル生成ノズル⑨(Fig.1)の水用ノズルから、貯水槽内(600×250×2000 mm, 水位=1970mm=一定)に噴出される。空気は空気圧縮機⑦から気体用浮遊式流量計⑧を通り、水用ノズルの近傍に設けられた空気ノズルから噴出される。この際、高速の水噴流に巻き込まれた空気泡は、噴流外縁の速度勾配の大きなせん断層で微細化されマイクロバブルとなる。

座標系は、水槽底面の中心を原点とし、上方向をy軸、水平方向をx軸とした。Fig.2 に、ノズルの詳細を示す。ノズルは、出口直径 $d=2.0\text{mm}$ 、絞り面積比 $A/A_0=0.25$ のオリフィス形状の水用ノズルと、水用ノズルの近傍に設けられた $d_s=1.0\text{mm}$ の空気用ノズルからなる。

2.2 実験方法 水噴流流量は $Q_w=3.5\text{ l/min}$ ($u_m=18.6\text{ m/s}$) とし、空気流量を $Q_a=0.2, 0.4, 0.6\text{ l/min}$ と変化させ、マイクロバブル生成ノズル本数 $n=2$ で行った。また、仕切板はその下端を $y=200\text{ mm}$ =一定とし、長さを $L=1.0, 1.3, 1.5\text{ m}$ と変化させた。

ノズルより噴出した、マイクロバブル噴流の気泡群のy方向の速度分布はLDA(Laser Doppler Anemometry)を使用して測定した。測定断面は $y/H=0.25, 0.5, 0.75$ の各断面をx方向60mmおきに9点測定した。

マイクロバブルの気泡径 d_b は、水槽上流側A点(-150, 1700, 0)と下流側B点(150, 300, 0)で、デジタルカメラによって撮影した拡大画像中の気泡径を画像処理して求めた。なお、測定可能な最小気泡径は約 $30\text{ }\mu\text{m}$ であった。

エアレーションに際し、溶存酸素量 C の経時変化は、気泡塔内の水の溶存酸素を亜硫酸ソーダ法により除去し、その値が実験開始時における水温の飽和酸素量 C_s の10%となった時刻から測定を開始し求めた。測定位置は気泡径の測定の場合と同様の2箇所、測定は、1分ごとに溶存酸素計によって溶存酸素量 C を50分間測定した。

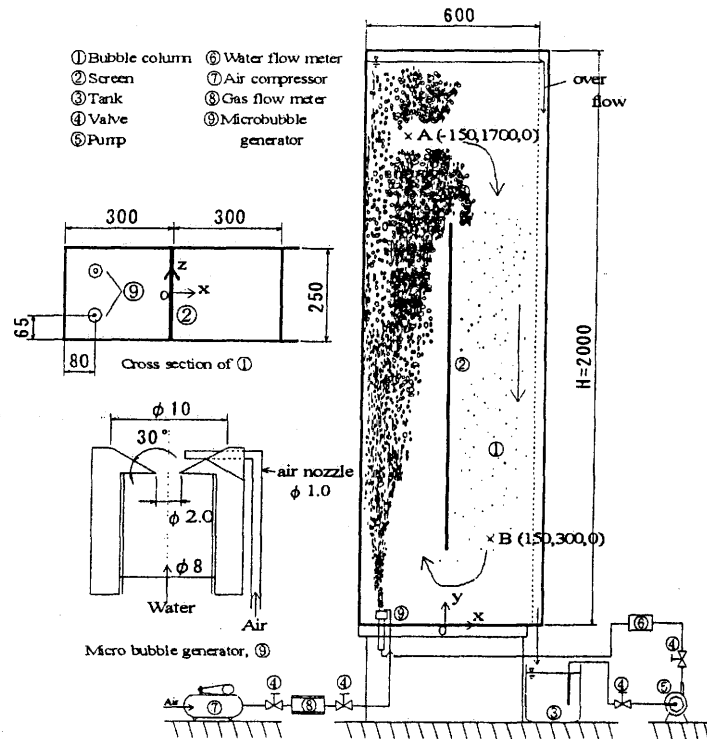


Fig.1 Test section, Bubble column

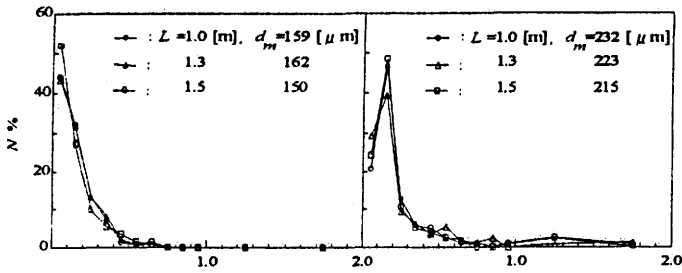
3. 実験結果と考察

3.1 気泡径分布

Fig.2(a)に水槽上流側Aの、(b)に水槽下流側Bの $Q_a=0.2\text{ l/min}$ での気泡径分布を示す。Nは、その気泡径の頻度である。また、Fig.3に平均気泡径 d_m を示す。 d_m は Q_a が増加するとともに増大する。これは、ノズル出口近傍で生成される気泡径の差による。 $Q_a=0.2\text{ l/min}$ では、微小気泡が生成されており、 $Q_a>0.4\text{ l/min}$ では、比較的大きい気泡も存在する。一方、仕切板の長さ L が長くなると、上流、下流側共に d_m が小さくなる。これは、仕切板が長い ($L=1.5\text{ m}$) と、気泡が流路の上部まで運ばれ、下流側に入り込まず、そのまま水面へと上昇していく、すなわち小さな気泡のみが流れに従って下流側へと移動することによる。

3.2 気泡群の速度分布

Fig.4に、気泡塔断面 $y/H=0.50$ (H : 気泡塔高さ)での気泡群のy方向の速度分布の例を示す。Fig.4(a)は、 $Q_a=0.2\text{ l/min}$ の場合の仕切板長さの影響を、(b)は、 $L=1.0\text{ m}$ の場合での空気流量 Q_a の影響を示す。分布形は、 L, Q_a にほとんど影響されずほぼ同一の分布形となるが、 L が小さくなると下降速度が、 Q_a が増加すると気泡の上昇速度・下降速度が幾分増加する。上昇速度は、空気流量の増加により気泡径が増加し、浮力の増大により増加すると考えられる。下降速度は、 L が小さい方が上流側と下流側の気泡径の差が大きく、流



(a) Up side, A (b) Down side, B
Fig.2 Bubble size distribution ($Q_a=0.2$ l/min)

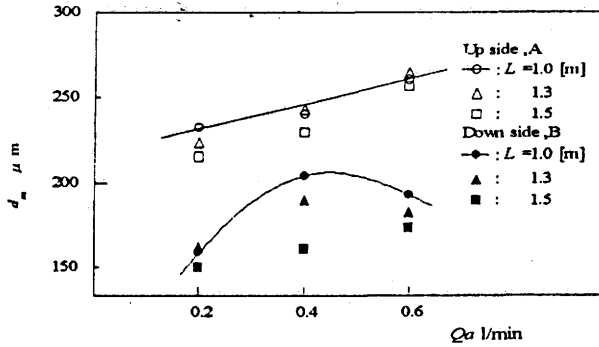
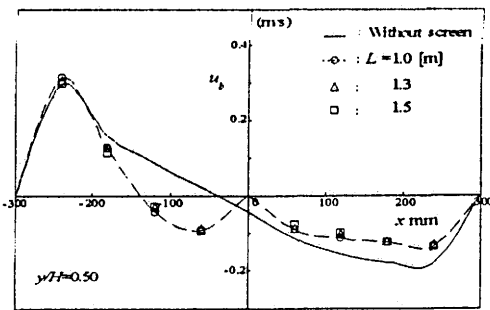
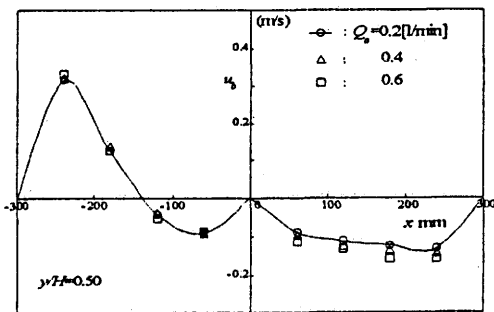


Fig.3 Averaged bubble size



(a) Influence of screen ($Q_a=0.2$ L/min)



(b) Influence of flow rate of air ($L=1.0$ m)
Fig.4 Velocity distribution

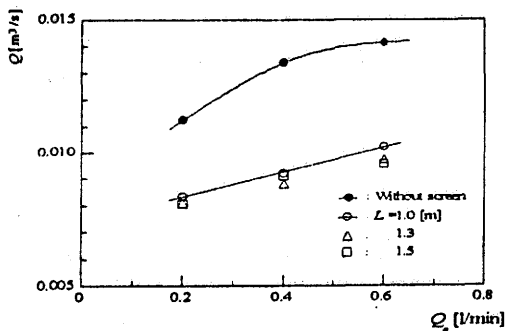


Fig. 5 Circulation flow rate

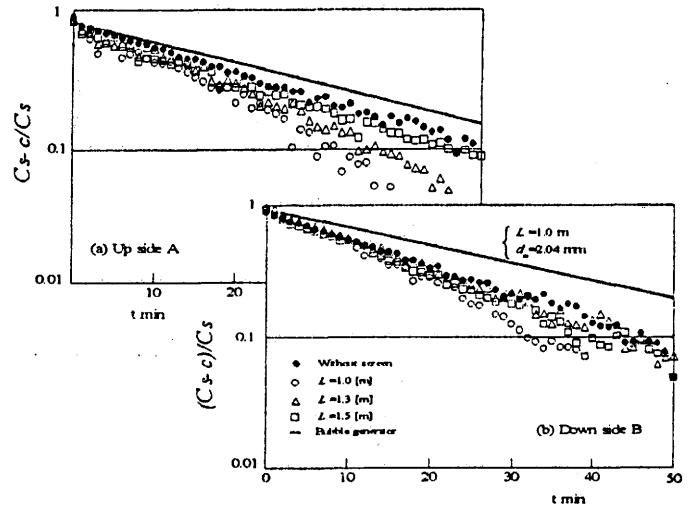


Fig.6 Dissolved oxygen

れの密度差がより大きくなるため、エアリフトが強くなり増加すると考えられる。

Fig.5に、 $y/H=0.50$ での下流側の速度分布をもとに算出した循環流量 Q m^3/s を示す。循環流量は、 L が小さい方 ($L=1.0m$) が幾分大きくなる。

なお、仕切板を設置すると Q は大きく減少し最大で $L=1.3m$, $Q_a=0.4$ l/min の場合、約 34%減少した。

3.3 溶存酸素量 Fig.6 に、溶存酸素量に対する影響を受けるのかを示す。Fig.6(a), (b)はそれぞれ上流側 A, 下流側 B の位置での測定結果である。縦軸は、溶存酸素量 $[(C_s - C)/C_s]$, C_s : 測定時の水温での飽和酸素量, mg/l, C : 溶存酸素量, mg/l] である。したがって、 $(C_s - C)/C_s$ が減少するほど、溶存酸素量 C が増加することを示す。各仕切板の長さ L に対して、 Q_a を変化させても溶存酸素量はほとんど変化しない。

溶存酸素量は、仕切板が無い場合に比べて、 $Q_a=0.2$ l/min, $L=1.0m$, $t=30$ min. で、上流側で約 18%, 下流側で約 11%, 増加する。これは、 $Q_a=0.2$ l/min, $L=1.0m$ の場合が最も流れが下降側に流れやすく、なお仕切板の影響により平均気泡径が小さくなり気泡同士の合体が少なくなることによると考えられる。また、同一条件下 ($L=1.0m$, $Q_a=0.2$ l/min) で気泡発生器 ($d_m=2.04mm$) での結果と比較した場合、溶存酸素量は上流側で約 46%, 下流側で約 28%の増加する。このことから、気泡をマイクロバブルにする効果が十分にあるといえる。

4. 結論

- (1) 仕切板が長くなると、上流及び下流側での平均気泡径が小さくなる。
- (2) 空気流量 Q_a が増加すると、気泡の上昇、下降流の速度が増加し、循環流量が増加する。
- (3) 循環流量は仕切板の設置によりかなり減少し、最大で (at $L=1.3$ m, $Q_a=0.4$ l/min) 約 34%減少する。
- (4) 溶存酸素量は、仕切板がない場合に比べ、 $L=1.0m$, $Q_a=0.2$ l/min, $t=30$ [min.] で、上流側で約 18%, 下流側で約 11%増加する。

参考文献

- (1) 坂東芳行, 矩形気泡塔を用いた気泡と泡沫の応用, ながれ 23, (2004), pp.7-15.