

ノズル形状の析出気泡特性に及ぼす影響

九州大学 工学部 学生員 ○張 満良
 同上 正 員 楠田哲也
 神鋼パンテック(株) 正 員 平井孝明

1. はじめに

加圧浮上濃縮法は、濃縮度が高く、比重の小さな汚泥或は余剰汚泥のような難濃縮汚泥の濃縮に非常に有効な方法である。従来の研究結果¹⁾及び現場運転の実績から、析出気泡が小さいほど、濃縮効率も高く固液分離効果もよいことが解っている。したがって、微細気泡の発生手法の確立は高効率、省エネルギー(低A/S)浮上濃縮法の開発にとって重要である。本研究は、気泡の析出に大きな影響を及ぼす減圧装置のノズルに主眼を置いて、ノズルの形状と析出気泡特性の関係について実験的に検討し、その結果に基づいて、効果的なノズルの設計のための基礎的提案を行うことを目的としている。

2. 実験装置及び方法

実験装置は容量3.0ℓの全量加圧式フローテーションテストに、内寸6.5cm×12cm、高さ23.5cmのアクリル樹脂製浮上槽とノズルを取り付けたものである²⁾。実験は、まずフローテーションテストに下水処理水を入れ、所定の圧力で空気溶解量が飽和に達するまで曝気した後、減圧弁を開き、浮上槽に気泡を発生させることにより、20℃の恒温槽にて行った。測定項目は気泡径と噴流量である。気泡径の測定は、実体顕微鏡による接写により行った。撮影した気泡写真から直接気泡径を測定し、その結果を用いて、気泡径分布と個数平均径 d_l (気泡の総体積を測定気泡個数で除して得た値)を求めた。ノズル入口部の圧力差を噴流量から求めた。実験に用いたノズルは、ステンレスパイプ製で、入口の形状は、図-1に示すようにオリフィス、角端および鋭端とした。

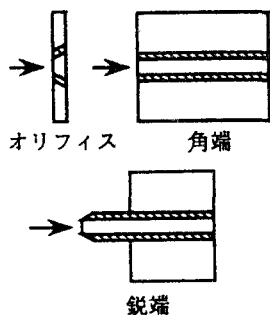


図-1 ノズルの形状

3. ノズル形状に関わる析出気泡への影響因子

ノズル形状が析出気泡に影響を及ぼす基本的因子には、圧力減少速度(単位時間当りの圧力減少量)($\Delta P/t$)と圧力減少継続時間あるいは通過時間(流れがノズルを通過するのに必要な時間) t がある。通常、 $\Delta P/t$ が大きいほど析出気泡の径は小さいが、 $\Delta P/t$ が極めて大きく、気泡の析出に要する時間と同程度ないしは、その時間以内に圧力減少が終了するようになると、 $\Delta P/t$ の影響はなくなり、減少圧力差だけが問題となる。本実験に用いられたノズルでは、圧力減少が入口部に集中して、 t が非常に短いので、 $\Delta P/t$ よりも入口部の圧力差が気泡径の決定因子となっている。通過時間は直接 $\Delta P/t$ に影響を及ぼす以外に、ノズル内の乱流水流中にある成長している気泡相互の衝突合一にも大きな影響を及ぼす。したがって、析出気泡径は入口部での圧力差と通過時間の関数となると考えられる。

4. 実験結果及び考察

4-1 オリフィスの析出気泡特性 ノズルの孔径と加圧力を変化させた時の測定結果を図-2に示す。ノズル孔径の大きさにほとんど関係せず、気泡径は加圧力が大きくなるに伴い、小さくなっている。オリフィスの出口では角端型ノズルのように急縮、剥離やキャビテーションが生じず、入口での圧力差は加圧力に等しいので、上述の結果から圧力差が大きくなると、気泡径が小さくなる。図-2の関係を2kgf/cm²の場合を除いて回帰式で表すと、次のようになる

$$d_l = 52.5 - 2.87 \Delta P \quad r = 0.974 \cdots \cdots (1)$$

ここで、 ΔP : 圧力差 (kgf/cm²)、 r : 相関係数である。

4-2 角端型ノズルの気泡析出特性 図-3は角端型ノズルの析出気泡の径と加圧力の関係を示す。全体的に見て、加圧力が高いほど、しかもノズルが短いほど、気泡径は小さくなっている。また、気泡径は、低

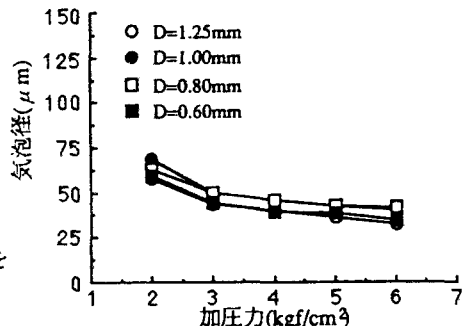


図-2 オリフィスでの発生気泡の径と加圧力

加圧力の場合、ノズル長によってかなり異なるが、加圧力がある程度以上になると、いずれも同じ値に近づき、しかもノズルが短いほど近づき始める時の加圧力が小さくなっている。5kgf/cm²以上ではノズル長の影響はほとんどなくなり、角端型ノズルの析出気泡特性はオリフィスとほぼ同じになっている。これは入口部でキャビテーションが生じるためである。

図-4は通過時間による気泡径の変化を示す。通過時間の増大に伴い気泡径が大きくなっているが、気泡径の変化程度は $t \leq 1.5\text{ms}$ ($1\text{ms}=1/1000\text{秒}$)では小さく、 $t > 1.5\text{ms}$ では大きい。これは $t \leq 1.5\text{ms}$ の時、いずれのノズルでもキャビテーションが発生し、析出した気泡が小さいので、気泡間の衝突による結合の確率が小さくなるためと考えられる。

角端型ノズルの気泡径と入口での圧力及び通過時間の関係は次のような式になる。

キャビテーション未発生の時

$$d_1 = 67.0 - 13.6 \sqrt{P} + 20800t \quad r = 0.992 \dots \dots (2)$$

キャビテーション発生の時

$$d_1 = 54.5 - 2.4 \sqrt{P} + 1290t \quad r = 0.960 \dots \dots (3)$$

ここで、 $\sqrt{P}$ と t の単位はそれぞれkgf/cm²と秒(sec)である。

4-3 鋭端型ノズルの気泡析出特性 図-5は鋭端型ノズルの析出気泡径を示す。いずれの加圧力でも長さ6.0と10.1mmのノズルの析出気泡径は40 μm 程度であり、加圧力による変動も余りなく、安定している。長さ21.5mmのノズルを用いた時気泡径は低加圧力時に、少し大きい。加圧力の増加に伴って小さくなる。全体的に見ると、鋭端型ノズルの析出気泡径は加圧力の影響を余り受けずに、加圧力の増加による効果が小さいことが分かる。これは所定の加圧力の全範囲で、キャビテーションが発生したからである。ノズル長の影響を通過時間で表すと、図-6のようになる。通過時間の影響は $t \leq 1\text{ms}$ ではほとんどなく、 $t > 1\text{ms}$ で t の増加に伴い気泡径が少し増加している。

鋭端型ノズルの気泡径と入口での圧力及び通過時間の関係は次式のようにになる。

$$d_1 = 37.1 - 0.43 \sqrt{P} + 8750t \quad r = 0.901 \dots \dots (4)$$

5. おわりに

各ノズルで析出した気泡の径、及び気泡径の回帰式を総合的に比較して見ると、析出気泡径は鋭端型ノズル、オリフィス、キャビテーション発生時の角端型ノズル、キャビテーション未発生時の角端型ノズルの順で大きくなることが分かる。また、キャビテーションが起きると、気泡径は全体的に小さくなる。キャビテーションが起きやすく、長さの短いノズルは微細気泡の析出に有利である。

(参考文献)

- 1) 楠田, 張, 平井: フロス内気泡の形状から見た浮力の有効性, 下水道協会誌論文集No. 4, p. 54-61, 1991
- 2) 築地, 張, 楠田: ノズル形状と気泡発生特性に関する研究, 土木学会第46回年次学術講演会, p. 432, 1991

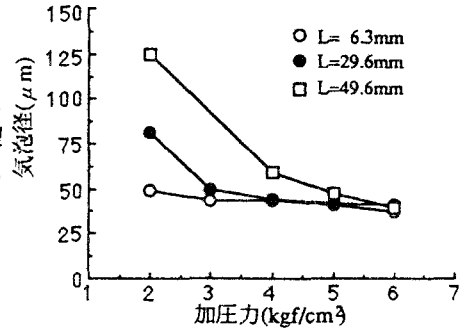


図-3 角端ノズルでの発生気泡の径と加圧力

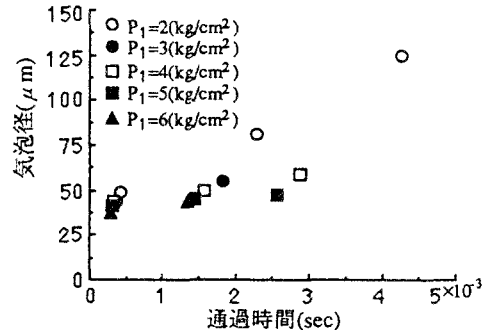


図-4 角端ノズルでの発生気泡の径と通過時間

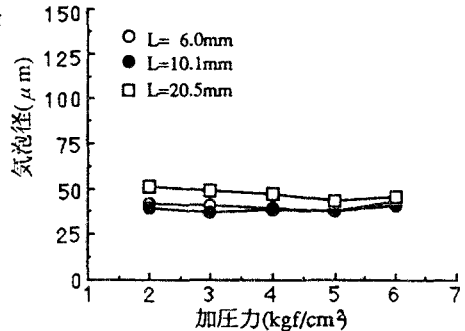


図-5 鋭端ノズルでの発生気泡の径と加圧力

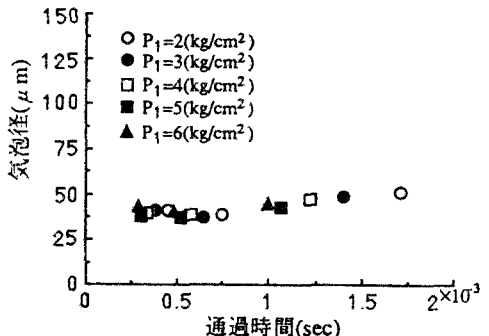


図-6 鋭端ノズルでの発生気泡の径と通過時間