

Development and Study of Performance of Bubble-Jet-Type Air Lift Pump
(2nd Report, Effects of Parameters on Pump Performance)

○正 佐田富道雄 (熊本大) 正 川原顕磨呂 (熊本大) 学 木村隆直 (熊本大) 学 中尾 淳一 (熊本大)

Michio SADATOMI, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto City, Kumamoto
Akimaro KAWAHARA, Kumamoto University
Takanao KIMURA, Kumamoto University
Junichi NAKAO, Kumamoto University

1. 緒言 著者らが考案したバブルジェット式エアリフトポンプ^(1, 2)は, 微細な気泡を含む水噴流を海底等の堆積汚泥に衝突させて浮遊させ, エアリフト用ライザーに気泡と共に導くことにより回収可能である. このため, 魚類養殖場での水質浄化, ならびにダム湖や沈砂池での水質浄化と貯水量の回復に役立つと期待できる. 本発表では, このようなエアリフトポンプの作動状況と共に作動特性に及ぼす導入液流量, 浸水率等の影響を調べた実験の結果と考察を報告する.

ッサーではなくポンプを使うこと, 及びバブルジェットの作用で堆積した土砂等を強制的に浮揚できることである.

2. 装置の概要と作動原理

2.1 バブル製造装置 Fig.1は重要部品であるバブルジェット製造装置である. 高压の水を円管に流し, 球状物体後方に生じる負圧を利用して環状の空気室から小孔を介して水流中に空気を自吸する形式である^(3, 4). 自吸後の空気は高速水流によりせん断され, 微細気泡となり, 水と共に噴流として排出される. 本研究に使ったものは, 過去の研究結果⁽⁴⁾を考慮し, 円管と球の直径は11.0 mmと9.53 mmとし, 小孔はマイクロバブル用よりも大きい直径1 mmとした⁽²⁾.

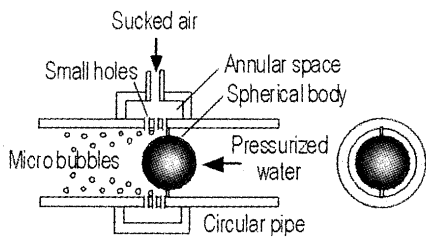


Fig.1 Bubble jet generator

2.2 バブルジェット式エアリフトポンプ 本ポンプの模式図をFig.2に示す. 装置は, バブルジェット発生装置, 給水用の水中ポンプと水ライン, 吸気ライン, エアリフト用ライザー, および固液分離装置からなる. バブルジェット発生装置は, 堆積した土砂・汚泥が浮揚し, かつ旋回流が生じるようにスカート下部に取付ける. そうすると, 遠心力のため気泡は中心部に集中して合体し, ライザー内を上昇する. ライザー内は気泡の存在により平均密度が管外の水の密度よりも低くなり, 管内の液位が上昇し, エアリフト作用が起こる. その際, 下部から水を吸込むので, 浮揚した土砂・汚泥は水と共に管内を上昇する.

特徴は, 気泡の一部 (マイクロバブル) が水に溶け込むため, 水の酸素濃度が上昇し水質が改善できる点などである. 通常のエアリフトポンプとの違いは, 駆動源としてコンプレ

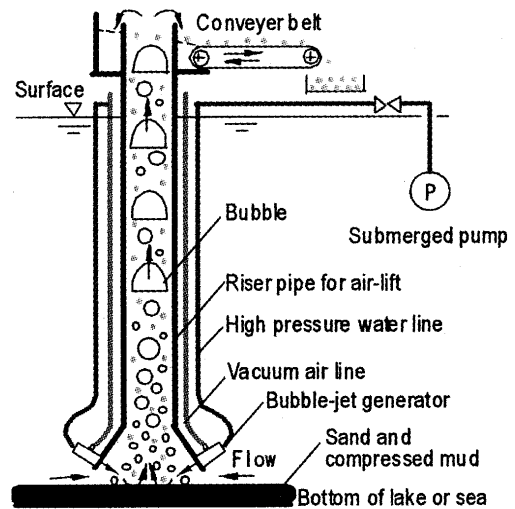


Fig.2 Bubble-jet-type air-lift pump^(1, 2).

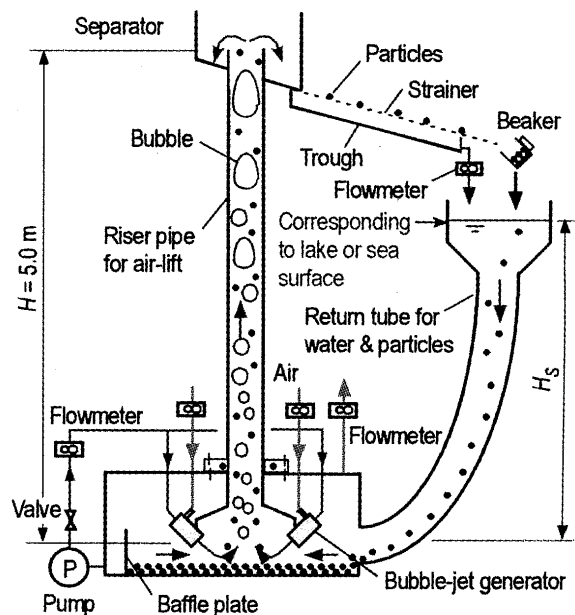


Fig.3 Experimental apparatus.

3. モデル試験 大型装置の設計資料を得るため、Fig.3の装置を作りモデル試験を行った。垂直なライザーには内径26 mm、長さ5 mの透明アクリル管を用い、浸水率 $\sigma (= H_s/H)$ を0.76-0.86の範囲で変えた。各浸水率に対して、バブル発生装置への給水量 Q_{LI} を40 - 62 l/min の範囲で変え、空気の入水量 Q_{GI} と水の揚水量 Q_{LO} を流量計で、粒子の揚固量 Q_{SO} をビーカーと電子天秤で測定した。また、吸入した空気の一部がライザーに入らずに漏れたのでその流量 $Q_{G, leak}$ を流量計で測り、ライザーからの排出量 Q_{GO} は $Q_{GI} - Q_{G, leak}$ で求めた。なお、固体粒子には平均直径1.94 mm、比重2.74の赤色ガラス球（自由沈降速度 $u_{s0} = 0.28$ m/s、粒子レイノルズ数 $Re_s = 540$ ）と平均直径4.03 mm、比重2.60のセラミック球（ $u_{s0} = 0.44$ m/s、 $Re_s = 1760$ ）を用いたが、後者は実験精度の問題があり、本報では前者の実験値を紹介する。

4. 試験結果と考察

4.1 エアリフトポンプの性能試験結果 Fig.4 に給水量 Q_{LI} を増やした時の(a)空気排出量 Q_{GO} , (b)揚水量 Q_{LO} , (c)粒子揚固量 Q_{SO} の変化を示す。空気排出量 Q_{GO} は、上述の漏れのため、 Q_{LI} が増すにつれ増加の割合が少なくなった。浸水率 σ の影響は小さい。次に、揚水量 Q_{LO} は、 Q_{GO} が Q_{LI} の増加により増すので、 Q_{LI} の増加と共に増加した。そして、 Q_{LO} は浸水率 σ が1に近いほど大きくなった。さらに、粒子揚固量 Q_{SO} は、 Q_{LO} が Q_{LI} の増加により増すので、 Q_{LI} の増加と共に増えた。そして、 Q_{SO} は浸水率 σ が1に近いほど大きくなった。以上より、浸水率 σ が1に近いほどポンプ性能が良いといえる。

経済的な観点では、粒子揚固量と揚水量の比 Q_{SO}/Q_{LO} が大きいほうが望ましい。そこで、 Q_{SO} の実験値に対して原点を通る斜線を引いてみた。 $\sigma = 0.86$ では、図示の場合が傾斜、すなわち Q_{SO}/Q_{LO} が最も大きいので、経済的な給水量は $Q_{LI} = 57$ l/min程度であることが分った。因みに、その給水量の時は、 Q_{LO} は18.5 l/min程度で、 Q_{GO} は8.5 l/min程度であったことが分る。そこで、これらの Q_{LO} 、 Q_{GO} 値を気液二相流のボイド率計算式として有名なArmandの式⁽⁵⁾に代入したところ、ボイド率は約0.26であり、経済的な効率の高い運転条件は気泡流からスラグ流への遷移域であることが分った。

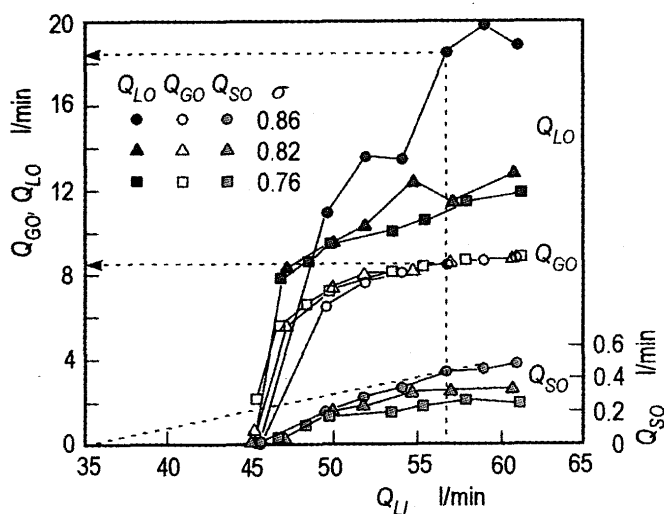


Fig.4 Experimental data on discharged rates of water, air and solid particles from the air lift pump riser at various liquid rates supplied to the bubble-jet-generator; Effects of the submergence ratio, σ .

4.2 性能予測モデルによる計算値との比較 吉永ら⁽⁶⁾は粒子揚固用エアリフトポンプの性能予測モデルを提案している。そのモデルは運動量理論に基づいており、 Q_{GO} と Q_{SO} を与えて Q_{LO} を計算することができる。しかし、彼らが対象としたエアリフトポンプは圧縮空気をライザー全長の中途から供給する形式のものであり、本エアリフトポンプとは異なって、ライザー入口から空気供給部までは固液二相流であった。そこで、本計算では吉永らのモデルを固液二相流の部分を含まない形に書き換えて計算した。そして、ライザー入口から気液固三相流であることを考慮して、その入口部の圧力損失の計算式を次式に置き換えて計算した。

$$\Delta P_B = \zeta \rho_H (j_G + j_L + j_S)^2 / 2 \tag{1}$$

ここで、 ζ は管の入口形状損失係数 (= 0.56) と助走による損失の係数の和、 j は容積流速 (= Q/A)、 ρ_H は均質密度である。添え字G, L, Sは気相、液相、固相である。

$\sigma = 0.86$ の実験に対して、上記のモデルを用いて Q_{LO} を計算し (Q_{SO} はFig.4の結果を考慮して0.3あるいは0.5 l/minとして与え、 ζ は0.56から3まで変えた)、実験値と比較した。その結果をFig.5に示す。実験点には、実験ごとで Q_{SO} 値が違ったので Q_{SO} 値を数字で書き込んだ。経済的な効率が高い Q_{GO} が8.5 l/min程度では曲線の計算値は実験値と一致したが、 Q_{GO} が8 l/min以下では一致は不十分である。ライザー入口付近に粒子が滞留して水の浸入を障害し Q_{LO} を下げた可能性がある。

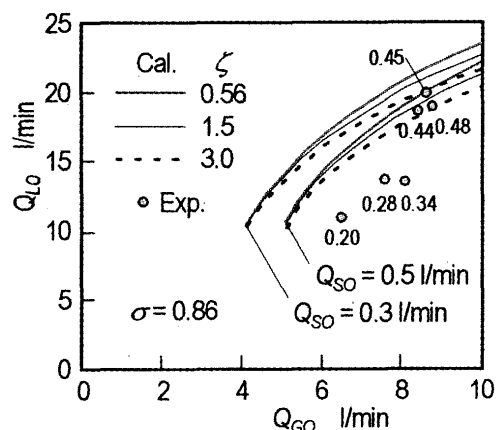


Fig.5 Comparison of the discharged water rate between experiment and calculation at the submergence ratio of $\sigma = 0.86$.

5. 結言 バブルジェット式エアリフトポンプの性能試験を行い、経済的な効率の高い運転条件を明らかにすると共に、その高効率運転条件では吉永らの性能予測モデルで性能予測が可能であることを示した。

終わりに、実験等で協力いただいた平野達也君、揚固用エアリフトポンプの計算プログラムを提供いただいた西日本工業大学の吉永俊雄教授、ならびに研究助成（課題番号08-150）をいただいた科学技術振興機構に感謝する。

参考文献

- [1] 佐田富, 特開 2005-291171, (2005).
- [2] 佐田富ほか4名, 機構論, No.058-1, (2005-3), pp.389-390.
- [3] 佐田富, 特開 2003-305494, (2003).
- [4] Sadatomi, M. et al., Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.29 (2005), pp. 615-623.
- [5] Armand, A.A., Izvest. Ves. Teplotekh. Inst., Vol.1 (1946), 16.
- [6] 吉永ほか2名, 混相流, Vol.4, No.3 (1990), pp.174-191.