

宇都宮大学 学生員 木下 靖貴

宇都宮大学 正 員 池田 裕一

宇都宮大学 正 員 須賀 堯三

1. はじめに

エアリフトは、気泡の浮力を利用する流体輸送方式で、最近ではかなり水深が大きい水域でも適用されるようになった。大深度の場合、水域下方では水圧が高いため気泡の大きさは小さく、上昇とともに水圧が低くなるため大きくなり、浮力が変化することが特徴の一つとなっている。こうした現象は、水深が深いほど顕著であるが、実験室レベルでは再現が困難である。本研究では、大水深によって高い水圧を得るのとは逆に、大気圧を低くして水圧を相対的に高くする「減圧実験法」を用いて、大気圧下と減圧時でのエアリフト内の流動形態および揚水量の実験を行った。そして現地観測結果¹⁾も合わせて水深変化の影響を検討した。

2. 実験装置および方法

減圧実験は、実験水槽に気密性のある蓋をして水槽内の空気を真空ポンプで吸引し、水面に接する空気の圧力を低くするもので、これによって大深度と同等な状況で実験を行うことができる。実験装置には図-1に示すような内径50cm、高さ1mの円筒形のアクリル水槽を用い、これを厚さ2cmのアクリル製の蓋で密封した。水槽内部には、長さ70cm、内径1.8cmのエアリフトを設置し、気泡発生器は、Series-A～Eはチューブの先端にスポンジ状のものを取り付けて細かい気泡が出るようにしたもの、Series-F、Gにはより細かい気泡が出るようにしたものを用いた。実験中、流況を見るためにビデオカメラで撮影し、流動形態を把握できるようにした。また、揚水量の測定は、塩水を用いて水槽中に予め二成層を形成しておき、エアリフトの揚水によって密度界面が下降するその量から求めた²⁾。実験条件については表-1に示す。

3. 実験結果および現地観測結果との比較

実験より得られた空気量 Q_{BB} と揚水量 Q_w の関係を図-1に示す。ここで Q_{BB} はエアリフト下端での空気量であり、水圧と空気体積の関係

$$Q_{BB} = \frac{H_{ao}}{H_a + H} Q_0 \quad (1)$$

から求めることができる。 H_{ao} は水槽外（1020cm）、 H_a は水面付近での圧力水頭を示し、 Q_0 は空気流量計での測定値である。図より換算水深が大きいと揚水量

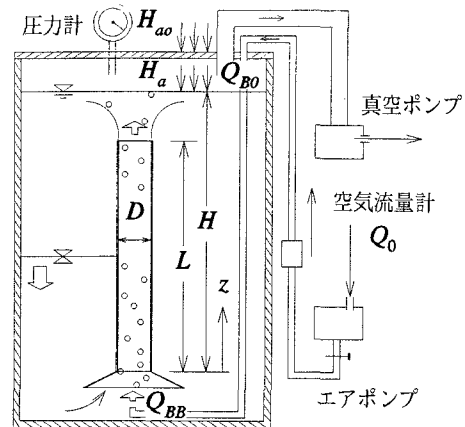


図-1 実験システム

表-1 実験条件

Series		水面での 圧力水頭 H_a	水深 H	大気圧下の 換算水深	空気量 Q_0	流動形態	L_R	記号	
A	大気 圧下	1020(cm)	80(cm)	80(cm)	1.5~40 (cm ³ /s)	気泡流	0.063	○	
B			65	65			0.065	◇	
C			60	60			0.065	□	
D	減 圧 時	617	80	132		スラグ流	0.100	●	
E		349		234			0.163	◆	
F						気泡流	0.193	■	
G		282		290				×	

も大きいことがわかる。またSeries-Eは空気量の増加により、スラグ流がエアリフト内での気相部分をあまりに大きく占めたために揚水量が減少したのではないかと考えられる。

次に、これらの揚水量の変化に大きく影響すると考えられる浮力に着目し、その大きさを検討する。まず定常流を仮定し、浮力以外の気泡の影響を無視すると運動量保存則より浮力の大きさと各損失の関係が次のように得られる³⁾。

$$\frac{L_a}{L} = \frac{1}{L} \int_0^L f_r(z) dz = \frac{1}{2} (K_e + K_o + f \frac{L}{D}) F_L^2 \quad (2)$$

ここに L_a は浮力の大きさ、 $f_r(z)$ は高さ z でのボイド率、 $F_L^2 = u_p^2 / gL$ はエアリフト内の流速を示す無次元パラメータを示す。 u_p は液相の流速（ $=Q_w/A$ 、 A は断面積）、 K_e 、 K_o はそれぞれ流入、流出損失係数（ $K_e=0.5$ 、 $K_o=1.0$ ）である。壁面摩擦損失係数 f には扱いが簡便なBlasius則 $f=0.3164(u_p D/\nu)^{-1/4}$ （ ν は水の動粘性係数）を用いた。この式(2)の右辺に実験結果を代入し浮力の大きさを評価することにする。

ところで圧力がエアリフト下端での静水圧のまま変化しないと考えれば、その時の L_a の値は空気の体積保存則から

$$\frac{L_{ao}}{L} = \frac{Q_{BB}}{A(u_p + u_s)} \quad (3)$$

となる。今回はこれをエアリフト内の全浮力の尺度と考える。図-3は浮力の大きさの比 $\gamma_a = L_a/L_{ao}$ と F_L の関係を示したものである。図-3には、表-2に示す釜房ダムでの現地観測結果¹⁾もプロットした。

u_s の値は、文献から典型的なものを引用した¹⁾⁴⁾⁵⁾。この図を見ると、 γ_a は各水深ごとにおおよそ F_L の7/5乗に比例しているのがわかる。そして相当水深が大きいほど γ_a が大きく、つまり圧力変化が影響していることがわかる。そこで、エアリフト内の圧力変化の大きさを示すパラメータとして $L_R = L/(H_a + H)$ を用い、 L_R と C_a の関係を図-4に示す。図より C_a は L_R によりおおよそ、

$$C_a = 38.8 L_R^{0.7} \quad (4)$$

となる。この関係をさらに大きな L_R の値に適用できるとする。この時の現場スケールでは L_R はほぼ1であり、その場合 C_a が大体40程度となる。この時の γ_a の変化を図-3中に実線で示した。 F_L が0.1~1の範囲でエアリフトを運用すると、図から γ_a は1~10の範囲で変化することになる。

<参考文献>

- 1)浅枝：海・湖の下層低温水を水面まで浮上させる気泡弾を用いた揚水塔の開発，文部省科学研究費補助金研究成果報告書，課題番号01850118，1991。
- 2)Leitch, A. M. and Baines: J. Fluid Mech., vol. 205, pp77-98, 1989。
- 3)池田ら：水工学論文集，第38巻，pp. 325-330, 1994。
- 4)J. H. Milgram: J. Fluid Mech., vol. 133, pp345-376, 1983。
- 5)日本原子力学会，熱流動部会：気液二相流の数値解析，朝倉出版，1993。
- 6)磯上ら：大口径RCD工法，森北出版，1983。

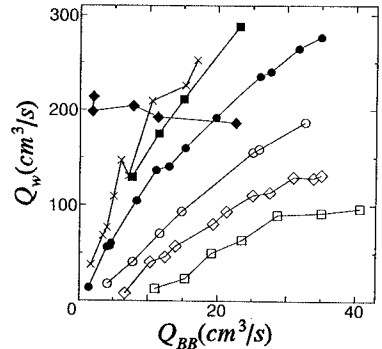


図-2 Q_{BB} と Q_w の関係
(図中の記号は表-1参照)

表-2 現地観測での条件

Series	D (m)	L (m)	H (m)	Q_0 (m³/s)	記号
1	0.5	20	25	0.6~ 1.7 $\times 10^{-2}$	▼
2		16	21		△
3		12	17		▲

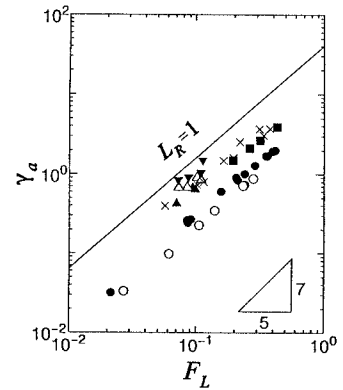


図-3 F_L と γ_a の関係

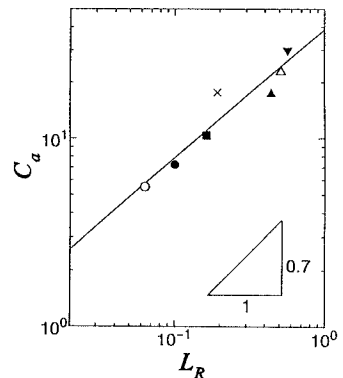


図-4 L_R と C_a の関係