

エアリフトの揚水特性に及ぼす圧力変化の影響について

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。大深度で下方から水面に向かって気泡が上昇する場合、水圧の変化に応じて気泡体積が変化し、そこに大深度特有の現象が現れることになる。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」の適用を試み、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相違、そして圧力変化による浮力の増加量について若干の考察を加えた。

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¹⁾。実験条件については表-1に示す。

3. 実験結果および考察

空気量 Q_{BB} と揚水量 Q_w の関係を図-1に示す。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

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

から求めることができる。 H_{a0} は水槽上（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。図より大気圧下では水深の相違、減圧時では減圧の割合により揚水量の増加の傾向に窺

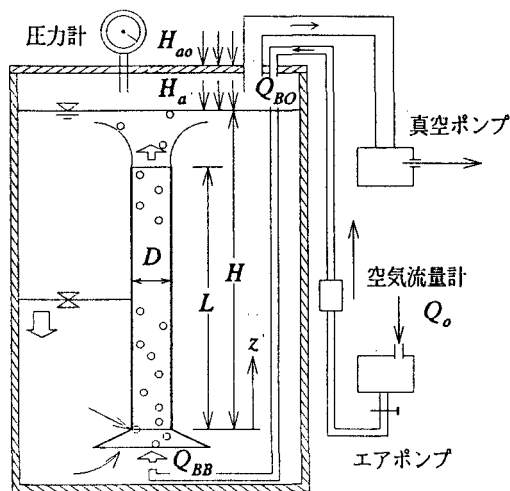


図-1 実験システム

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 相当水深	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		■				

化が見られる。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²⁾。

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

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)を用いて実験結果から浮力の大きさを算出することにする。

ところで L_a の値は、エアリフトの圧力変化がわかれば、空気の体積保存則から求めることができる。仮に、その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_{ao} の値は

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

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、浮力の大きさの比 $\gamma_a = L_a/L_{ao}$ と F_L の関係を図-3に示す。ここで u_s には、気泡流時に 35cm/s ³⁾、スラグ流時(Series-Eは除く)⁴⁾には 15cm/s を用いた。この図において、各Seriesごと

$$\gamma_a = C_a F_L^{7/5} \quad (4)$$

の回帰式で、おおよそ表わすことができる。そして大気圧下の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、エアリフトを通しての圧力変化の大きさを示すパラメータとして $L_R = L/(H_a + H)$ を導入し、 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、

$$C_a = 49.8 L_R^{0.85} \quad (5)$$

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と、例えば $H=300\text{m}$ 、 $L=310\text{m}$ の現場レベル⁵⁾では C_a が大体50程度となり、式(4)よりその時の γ_a の変化を図-3中に実線で示した。 F_L が0.1から1程度となるようにエアリフトを運用すると、図からわかるように γ_a は1から10を越えるあたりまで変化することになる。

<参考文献>

- 1) Leitch, A. M. and Baines: J. Fluid Mech., vol. 205, pp77-98, 1989. 2) 池田・浅枝・須賀: 水工学論文集, 第38巻, pp. 325-330, 1994. 3) J. H. Milgram: J. Fluid Mech., vol. 133, pp345-376, 1983. 4) 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. 5) 磯上・相澤: 大口径RCD工法, 森北出版, 1983.

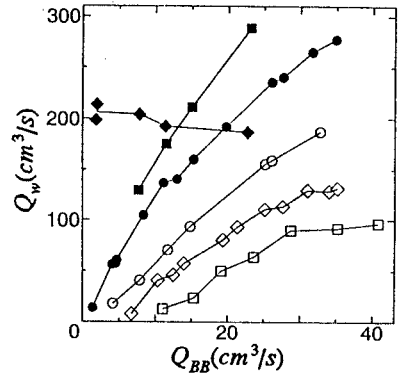


図-2 Q_{BB} と Q_w の関係
(図中の記号は表-1参照)

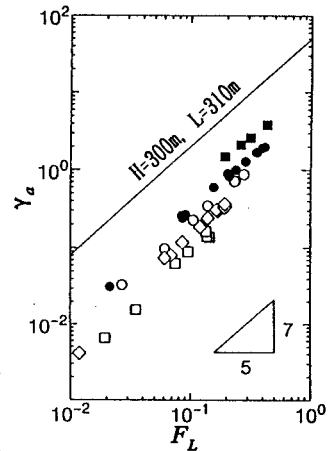


図-3 F_L と γ_a の関係

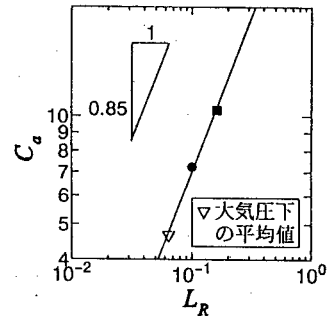


図-4 L_R と C_a の関係