

電力中央研究所	水理部	正会員	山本亮介
	同上	正会員	田中伸和
原子力システム部		非会員	大川富雄

1 はじめに

深層海水は、低温で栄養塩に富んだ清浄な海洋資源であり、魚介類の養殖など、その用途は非常に多い。そこで現在、海洋型 CAES とエアリフト式ポンプを併用して深層海水を揚水する技術の開発を進めている。CAES(=Compressed Air Energy Storage) とは、夜間電力で圧縮空気を作って貯蔵し、昼間にそれを取り出してガスタービン発電を行うエネルギー貯蔵技術であり、欧米では圧縮空気を岩塩層内の空洞に貯蔵する岩盤内型 CAES が既に実用化されている。ここでは本来、ガスタービン発電に利用する圧縮空気をエアリフト式ポンプと併用して深層海水を揚水するためにも利用する。

深層海水揚水を目的としたエアリフト式ポンプは実用には至っておらず、その揚水特性も明らかになっていない。本研究では、深層海水揚水用のエアリフト式ポンプの特性を調べるため、現在最もよく用いられている気液二相流の数値解析モデルである二流体モデルを用いて数値解析を行い、海洋型CAESとエアリフト式ポンプを用いた深層海水の揚水特性について検討を行った。

2 支配方程式

一般的に二流体モデルでは、基礎方程式として、気相と液相に対して1次元の質量、運動量、エネルギーの保存式を立てるが、本研究では管路内での温度変化は無視できうと仮定して、エネルギー保存式は用いないものとした。また、本研究で対象とする管路は管径が大きく、ボイド率は比較的小さいので気液二相流の流動様式は気泡流であると仮定し、構成方程式も気泡流のものをを用いた。

解析は基礎方程式と構成方程式を離散化し，完全陰解法で行った．離散化メッシュは等分割とし，変数はスタッガード配置とした．また，時間変化項と移流項の離散化は1次風上差分，圧力勾配は中央差分とした．

3 解析モデル

解析の対象とするモデルを図1に示す。図の様に、解析対象とする揚水管のモデルは鉛直管部と傾斜管部からなり、取水口は傾斜管先端に位置する。このように鉛直管と傾斜管が接合している形状になっているのは、できるだけ海岸近くに揚水管駆動部を設置し、その保守を容易にするためである。水深が深いほど海水に含まれる栄養塩は多くなるが、溶存酸素量は少なくなる。そこで、水産養殖に直接利用できる酸素量が溶存している水深300mの海水を揚水することとした。

管路は等断面であるとし、空気の注入位置、管径を変えて計算を行った。なお、傾斜管部分は液相のみであるので、気液 2 相流解析は鉛直管部分のみで行い、傾斜管では入り口部と出口部（鉛直管の接合部）で運動量保存式が成り立つ様に計算を行った。また、送気は開始から 60 秒で一定の送気量になるように線形に増加させた。

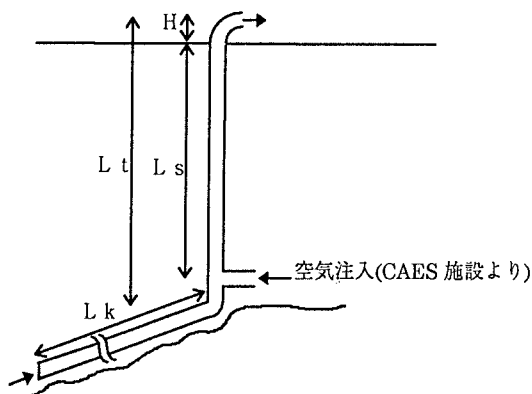


図1 解析モデル概念図

4 数值解析結果

図2は管径250mm, 鉛直管長さ60m, 空気注入水深50mの場合の送気量と揚水量, ボイド率の計算結果である。ここで, 計算メッシュ間隔 Δz は1m, 気泡径は1cmとして計算を行った。揚水量は送気量の増加に伴い増加している。しかしながら, ある送気量以上になると揚水量の増加は減少している。これは, 揚水

起動力の増加よりも摩擦損失の増加が増えるためである。一般的な水産養殖に必要な海水は約 $1\text{ m}^3/\text{day}$ 程度と考えられる。これは単位換算すると約 400 ton/h である。図によると、径 250 mm の揚水管の場合、送気量 1000 Kg/h 、径 500 mm の揚水管の場合、 250 Kg/h よりずっと少ない送気量で、この量を揚水することが可能であることがわかる。図3は空気注入位置を変化させた場合の揚水量の変化である（鉛直管長さ 100 m 、管径 250 mm の場合）。図より、空気注入位置が深いほど揚水量は多くなることがわかる。しかし、その増加量は比較的小さく、空気注入位置によって著しく揚水量が変わっていない。

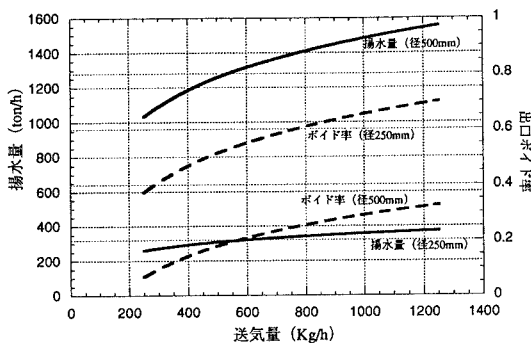


図2 送気量と揚水量、ボイド率の関係

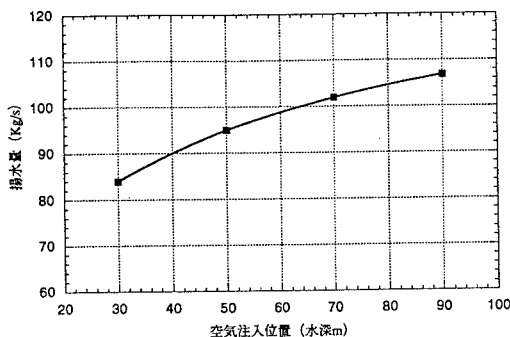


図3 空気注入位置の違いによる揚水量の変化
(管径 250 mm 送気量 750 Kg/h)

鉛直管長さ 60 m 、管径 250 mm 、空気注入位置水深 50 m で計算を行った場合について、図4は送気量 750 Kg/h における揚水量の時間変化である。送気開始直後から揚水量は増加し、ピークに達した後、振動しながら減少して一定揚水量に収束していることがわかる。これは、送気開始直後は管出口付近では液相のみであるので、気泡群が管出口付近に到達するまでの間、一時的に水量が増大するためであろう。図5は定常状態における流動方向に対するボイド率分布である。ここで、 $z=0$ が鉛直管最下部、 $z=60$ が管出口部である。管出口部に向かってボイド率は徐々に大きくなっている。

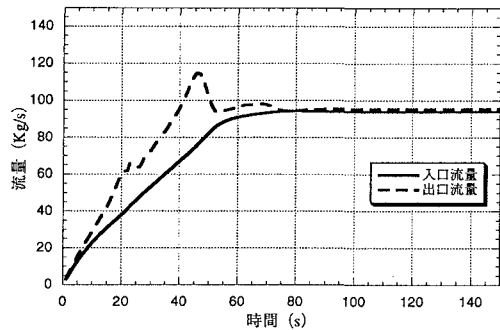


図4 液相流量の時間変化

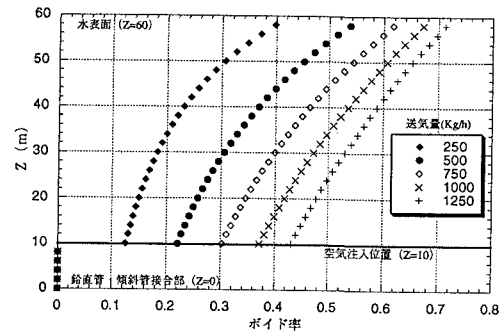


図5 流動方向に対するボイド率の分布

5 おわりに

深層海水揚水を目的とした海洋型CAESを併用したエアリフト式ポンプの揚水特性を調べるため二流体モデルを用いて数値解析を行った。その結果、揚水管の管径が 250 mm の場合、送気量 1000 Kg/h で水産養殖に必要な量を揚水できることがわかった。しかしながら、本研究で用いた構成方程式などのモデルにはいくつかの仮定部分が含まれており、これらを検証する意味で今後は二相流の流動様式に重点をおいたエアリフト式ポンプの揚水特性の検証実験を行いたい。

参考文献

- [1] Stenning, A.H. and Martin, C.B.: An Analytical and Experimental Study of Air-Lift pump Performance, Trans. ASME, J. Eng. Power, 90-2(1968), pp.106-110.
- [2] 角湯正剛, 内山洋司: 海底圧縮空気貯蔵の成立性, 日本造船学会第9回海洋工学シンポジウム, (1989).
- [3] 轟一郎, 佐藤泰生, 本田達: 気ほうポンプの揚水特性, 機論, 38-312(1977), pp.2085-2092.