法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-01-15

気泡除去装置内の流れ解析 : 気泡除去率による性能評価

TANAKA, Yutaka / ISHIDA, Yuuki / 鈴木, 隆司 / 田中, 豊 / 石田, 祐樹 / SUZUKI, Ryushi

(出版者 / Publisher)
法政大学計算科学研究センター
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学計算科学研究センター研究報告 / Bulletin of Computational Science Research Center, Hosei University
(巻 / Volume)
18
(開始ページ / Start Page)
19
(終了ページ / End Page)
22
(発行年 / Year)
2005-03-22
(URL)
https://doi.org/10.15002/00025024

気泡除去装置内の流れ解析
－気泡除去率による性能評価－

石田　祐樹
法政大学大学院工学研究科機械工学専攻
田中　豊
法政大学工学部機械工学科
鈴木　隆司
(株)　オーパスシステム

建設機械や産業用機械は油圧システムを動力源として作動している。これら油圧システムにおけるパワーの伝達媒体である作動油中に含まれる気泡は、システムの動作特性に影響をおよぼし、多くの場合、油圧機器トラブルの原因となる。そこで近年、旋回流を利用して油中気泡を取り除く気泡除去装置が開発された。この装置は旋回流により管内に圧力場を作り、圧力勾配を利用して気泡を除去することが出来る。本研究では、この気泡除去装置の気泡除去性能を明らかにするために、流れの数値解析を行い、性能の良い装置の最適形状を求めることを目的とする。

1．緒言

現在、流体を動力源とする装置は数多く存在し、建設機械、産業機械にも広く利用されている。液体の利用に際し問題になるのが気泡の存在である。液体中には多くの空気が含まれている。これらの空気は流体中に溶け込んでいる溶解空気とシステム作動時に外部から混入する混和空気として存在する。この結果、液中気泡はシステムの特性や製品品質に大きく影響する。

そこで近年、旋回流を利用して液中気泡を取り除く気泡除去装置[1]が開発された。この装置は旋回流により管内に圧力場を作り、圧力勾配を利用して気泡を除去することが出来る。しかし、効率の良い最適形状を求めるには至っていない。

本研究では、この気泡除去装置の性能を明らかにするために流れの数値解析を行う。具体的には油圧システムに用いられる作動油を液体、その作動油に溶け込んでいる気泡を粒子に見立てた二相流解析を行い、気泡の描く軌跡をもとに気泡除去率を算出する。また、装置形状が気泡除去率に与える影響を検討し、装置の最適なデザインについても検討する。

2．気泡除去装置

Fig.1 に気泡除去装置の原理図を示す。気泡除去装置は流体流入側から接線方向に設置してある流入口と一定傾斜を持つテーパ管路部、それに続くストレート管路により構成されている。この装置は接線方向からの液体の流入により旋回流を作り出し、液体より比重の小さい気泡（空気）が中心に集まることを利用している。中心に集まった気泡（空気）は背圧により放気弁から外部排出される仕組みとなっている。この装置は簡易な構造で、回路内にインラインで接続できる利点がある。また管路内を流れる流体のエネルギーを使っていることで、他の動力源を必要とせず、省エネルギーであるという利点もある。

3.解析方法

本研究の流れ解析ではNavier-Stokes方程式、連続の式、エネルギーの保存則を用い、定常計算を行った。計算を行う際には流体解析ソフトウェアSTAR－CDを使用した。座標系は、管路部分横断面を*x*-*y*平面、管路中心軸を*z*軸にとる３次元直交座標系とした。気泡の混入計算を行う際にはラグランジュ手法を用い、気体・液体の二相流解析を行った。数値解析に用いた流体の物性条件は一般の作動油に合わせ、動粘度ν=30[㎟/s]、密度ρ=893[kg/㎥]、流量*Q*=10[L/min]とした。気泡の物性条件は気泡直径*d*=0.1,0.2,0.3[㎜]、密度ρ=1.127[kg/㎥]、挿入気泡数を 30 個とした。ただし、本解析において気泡は浮力を無視した粒子としている。

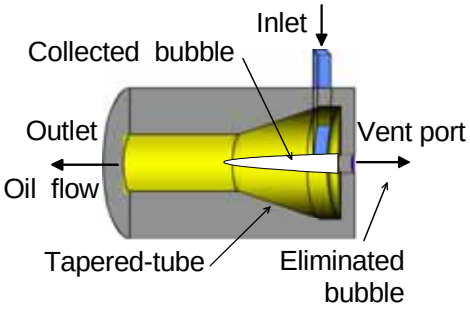

Fig.1 Principle of the Bubble eliminator

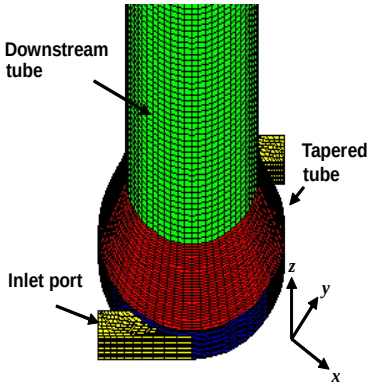

Fig.2 Mesh definition for the Numerical Analysis

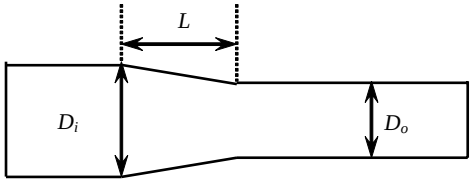

Fig.3 Geometry of bubble eliminator

Table 1 Dimensions of bubble eliminator

Case	D_i [mm]	D_o [mm]	L [mm]
1	20	16	15
2	20	12	15
3	20	8	15

Fig.2 に流れ解析に用いた気泡除去装置の計算格子図を示す。気泡除去装置は流入部、テーパ管路部、下流部で構成されている。解析を行うにあたり使用したモデルの格子数は約 93000 個である。Fig.3 に気泡除去装置寸法図をTable 1 に寸法表をそれぞれ示す。装置の下流部内径の違いが気泡除去性能へ与える影響を解析結果から検討する。

4.解析結果

4.1 中心軸圧力分布

Fig.4 にテーパエンド部内径の違いによる無次元化した中心軸圧力分布を示す。横軸のz^*は入口部における内径D_iを用いて無次元化した軸方向座標、縦軸のP^*は下流部断面平均流速を用いた動圧(=0.5 ρ v^2)で無次元化した中心軸圧力である。全ての圧力をz^*=0 における数値を基準として示した。どの条件でも中心軸圧力はテーパエンド部付近で極小値となる点が存在する。これはテーパ部の影響で流れが加速されたためである。また、テーパエンド部内径D_oが小さいほどこの極小値が小さくなり、気泡が上流側へ集められ、気泡は除去しやすくなると考えられる。三つの条件の中では、条件 3 が一番小さな極小値を示しており、他の条件と比べて高い除去性能が期待できる。

4.2 横断面圧力分布

Fig.5 にテーパエンド部内径の違いによる横断面(z^*=1.5)の圧力分布を示す。横軸r^*はテーパエンド部における内径D_oを用いて無次元化して示した中心軸からの距離である。条件 3 は他の条件と比べて中心方向への強い圧力勾配が発生し、極小値も一番小さい。このことから条件 3 においては装置内を旋回しながら下流へ向かう気泡が中心軸へ集められやすいといえる。

4.3 流跡線

Fig.6,Fig.7 にテーパエンド部内径の違いに対する気泡の流跡線を示す。どの条件においても表示する気泡数は 5 個とした。Fig.6 から気泡直径 d が大きくなるほど気泡が上流側、中心軸付近へ集まることがわかる。これは気泡直径が大きいほど中心軸で発生している圧力勾配や装置横断面における中心軸方向の圧力勾配の影響を強く受けるからだと考えることができる。Fig.7 においても気泡直径が大きくなるほど、中心軸付近に気泡が集まっている。しかし、気泡直径 d=0.2, 0.3 については気泡が上流側へ集まらず下流側へ流出

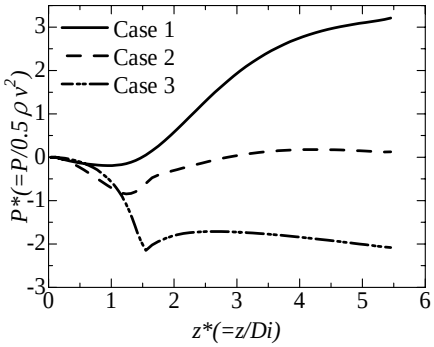

Fig.4 Pressure distribution along central axis

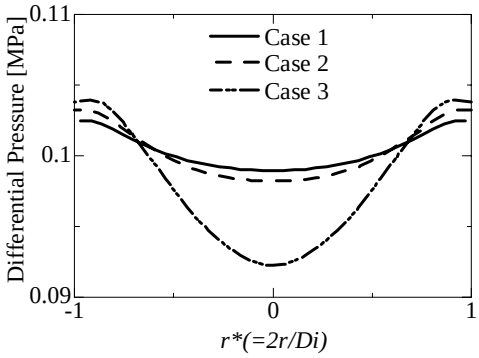

Fig.5 Pressure distributions across
the cross sectional area at the end of tapered-tube

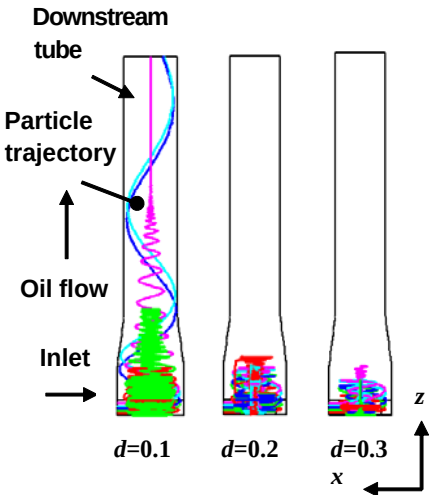

Fig.6 Streak lines of air particles for Case 1
(Flow rate: 10 [L/min])

した。これは中心軸圧力分布において極小値をとった後、圧力の回復がほとんど発生していないためだと考えられる。

5.気泡除去性能

Fig.8 に示す装置の横断面図において図中のD_e≦$D_o/2$, L_e≦$6D_o$ の範囲を気泡除去範囲とし、気泡軌跡がこの範囲内で旋回運動をした場合にのみ気泡の除去が可能であると考え、気泡除去性能を考察した。半径方向のD_eはテーパエンド部における内径D_oの半分とし、軸方向のL_eはD_oの 6 倍とした。この値は可視化実験の結果[2]をもとに決定した。

本研究では、気泡除去装置の性能を定量的に評価するため以下の式で表わされる気泡除去率 E[%]を定義する。

$$E = \frac{N_e}{N_{in}} \times 100$$

ここでN_eは除去可能な気泡数、N_{in}は挿入した気泡数である。例えば条件 1、気泡直径d=0.1[㎜]の条件においては、挿入した気泡数N_{in}=30 に対し、除去可能な気泡数はN_e=8 であり、気泡除去率E=26.6［%］と見積もることができる。

Fig.9 にテーパエンド部内径の違いによる気泡除去率の計算結果を示す。どの条件についても気泡直径が大きくなるほど気泡除去率は高くなる。これは気泡直径が大きいほど圧力勾配による力を多く受け、気泡が上流側の中心軸へ集められるからだと考えることができる。気泡直径 0.1[㎜]に注目すると、条件 3 では除去率 53.3%となったが他の条件では 40%以下となった。これは気泡が流体中を流れる際に粘性による抗力を受けるためである。よって解析条件の流量、粘度では条件 3 のモデルを使用すれば十分な除去性能が期待できると見積もることができる。

6.結論

本研究では気泡除去装置の内部流れについて二相流解析を行い、テーパエンド部内径の違いが流れ場の挙動、気泡の流跡線に与える影響を検討した。解析結果からテーパ部内径が小さいほど、中心軸圧力分布における極小値は小さくなり、また装置テーパ部横断面の圧力勾配も増大する。この結果、気泡はより上流側かつ中心軸付近に集められやすくなり、気泡除去率が高くなることがわかった。今後は流入口形状、装置全体の大きさも変化させ解析を行うことで、より一層の性能向上を図る必要がある。最後に本研究の数値解析は法政大学計算科学研究センターで行われた。この場を借りて関係者に謝意を表す。

参考文献

[1] 鈴木，田中，気泡除去装置，トライボロジスト Vol.4, No.11, pp.857-862, 1999.

[2] Tanaka, Y. Suzuki, R., Iwamoto, K., Arai, K., Visualization and Analysis of Swirling Flow in Bubble Eliminator, J. Visualization, Vol.4, No.1, pp.81-90, 2001.

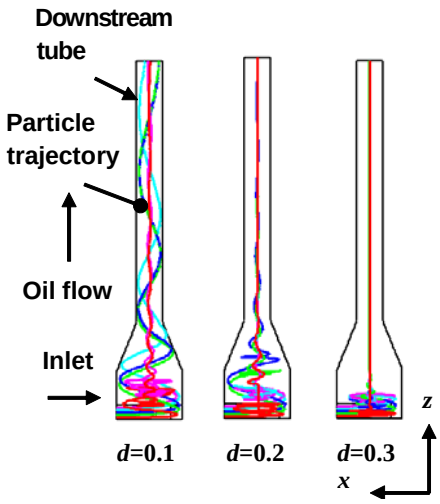

Fig.7 Streak lines of air particles for Case 3 (Flow rate: 10 [L/min])

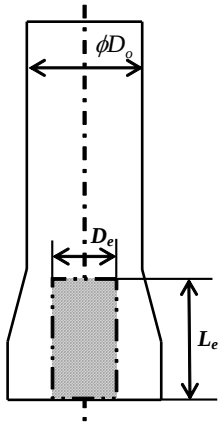

Fig.8 Bubble elimination area

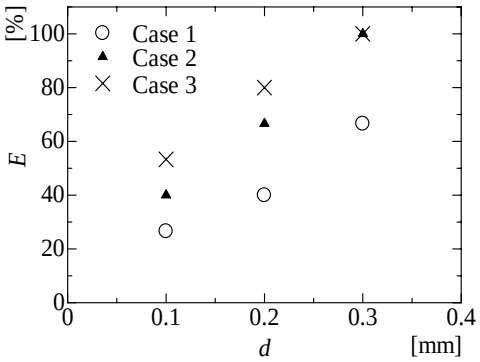

Fig.9 Rate of Bubble elimination

キーワード.

気泡除去装置, 旋回流れ, 数値解析, フルードパワーシステム, 気泡

Summary.

Numerical Analysis of Flow in Bubble Eliminator - Evaluation for Removal Performance of Bubbles -

Yuuki Ishida, Yutaka Tanaka
Department of Mechanical Engineering, Hosei University, Tokyo Japan

Ryushi Suzuki
Opus System Inc., Tokyo Japan

Air entrainment in working fluids has greatly detrimental effects on function and lifetime of the fluid power components and systems. This may cause major problems such as cavitation and aeration, noise generation and vibration, oil temperature rise, and deterioration of oil quality. Especially, when bubbles in oil are compressed adiabatically at the high pressure in a pump, the temperature of bubble rise sharply and the surrounding fluid temperature also rise. Thus, it is important to eliminate the air bubbles from the oil to preserve oil quality, system performance and to avoid possible damage of the components. One of the authors has developed a newly device using swirl flow for bubble elimination capable of eliminating bubbles and of decreasing dissolved gases. This device is called the Bubble Eliminator. In this paper, numerical analysis has been performed for clarifying swirl flow characteristics and pressure distributions. The numerical analysis of two-phase flows has also been carried out to investigate the performance of bubble removal. As results of the numerical simulation, we will design a more efficient type of bubble eliminator

Keywords.
Bubble Eliminator, Swirling Flow, Numerical Analysis, Fluid Power System, Air Bubble