

油圧油のキャビテーション

Cavitation in Hydraulic Oil

石原 智 男*・森 恒*

Tomoo ISHIHARA and Kō MORI

1. 緒 言

キャビテーション現象については数多くの研究¹⁾がおこなわれているが、それらは油圧油におけるキャビテーションの発生および状態変化に対する資料をあまり提供していない。近年、油圧機器の高圧、高速化にともない油圧油のキャビテーション発生による障害について多くの指摘がなされ、その現象の究明が迫られている。油圧油には一般的に相当量の気体が含まれているが、その含有の状態は明確にされていない。油圧油の蒸気圧はきわめて低く、実際問題として蒸気圧に直接依存するキャビテーションの発生を考えるよりは、油圧油に含まれている気体の分離によるキャビテーションを考えるべきであるとする見解が一般的である。油圧油中の気体の分離現象を左右する因子として、(1)圧力の絶対値および(2)その時間的变化、(3)粘性にもとづくせん断力および(4)その時間的变化(乱れの存在を含めて)などが考えられる。

本報告は、試料として油圧油(パラフィン系)のベース油とこれに添加剤を加えた実用油を用い、上記(1)圧力の絶対値および(4)粘性にもとづくせん断の時間変化の相互作用がキャビテーションの発生ならびにその成長におよぼす影響について実験的に調べたものである。なお、参考のために純水についても同様の実験をおこない、油圧油と水のキャビテーション発生状況の違いについて検討した。また、実験に用いた油圧油については気体含有量を測定し、水の気体含有量については既に明らかにされている資料²⁾を参照した。

2. 実験装置と方法

図1に実験装置を示す。図のフラスコ A (外径 32 mmφ) の首部上方まで試料を満し、これに刺激を与えるため 1.5 mmφ、長さ 20 mm の鋼線 6 本を封入する(フラスコの首部上方まで十分に試料を封入しないと、試料の自由表面の乱れによって試料中に空気をまきこむおそれがある)。フラスコは電動機軸に結合されたクランク D の運動によって横方向に揺動され、その振幅は 60 mm、揺動周波数は 0.5~7.0 Hz である。なお、揺動周波数は電動機の回転調節によってこの範囲内で一定に保

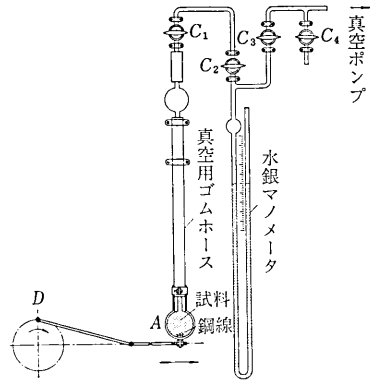


図1 実験装置

たれる。また、フラスコ内の実験圧力は真空ポンプにつながる管路中のコック C で調節し、その圧力を水銀マンオメータで測定する。

実験はフラスコ内の圧力を 760 mmHg から順次 25 または 50 mmHg 刻みで階段状に変化させ、その各々についてフラスコの揺動周波数を変化させておこなった。すなわち、設定圧力および設定揺動周波数においてフラスコを 1 分間揺動させ、停止後気泡の発生状況を約 1 分間観察する。

なお、揺動時間の長短による気泡発生の違いについては、15~120 sec の範囲にわたって揺動時間を変化させて実験をおこなった。

フラスコの揺動および鋼線の動きを 16 mm シネカメラ (64 f/sec) で撮影した結果を図 2, 3 に示す。周波数の高い範囲でフラスコはほぼ正弦波状に揺動し、鋼線は揺動周波数約 3 Hz まではフラスコの底部を左右に移動し、それ以上の周波数ではフラスコ内で複雑な運動を示す。なお、図 3 に揺動周波数 2.5 Hz の場合の鋼線の動きを例示する。また、測定時の試料の温度はベース油

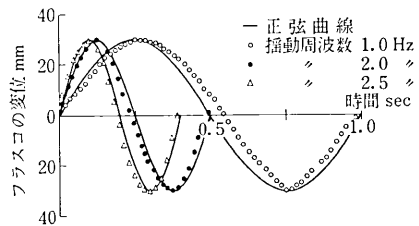


図2 フラスコの運動

* 東京大学生産技術研究所 第2部

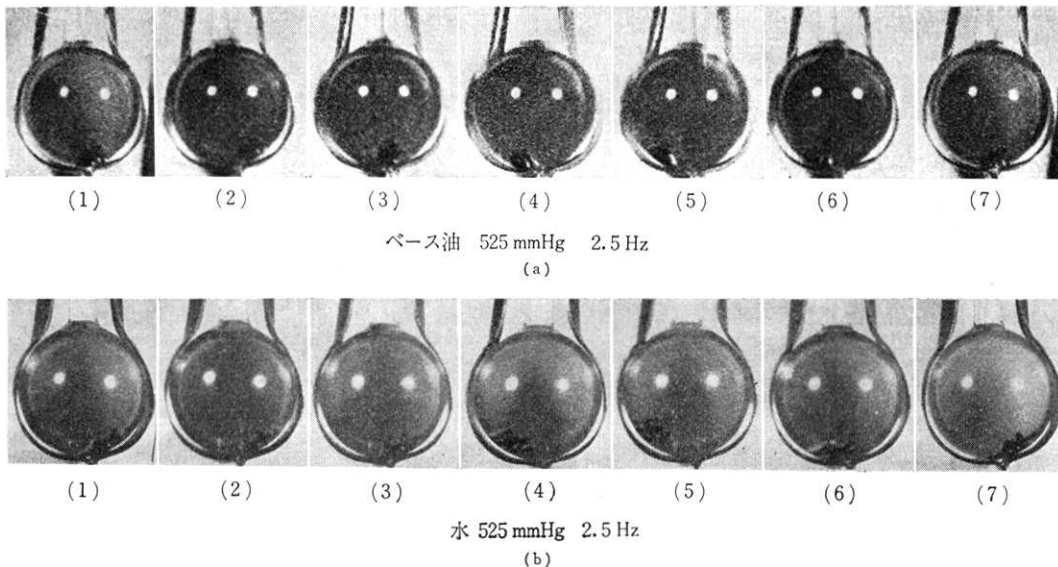


図 3 1 周期中の鋼線の動き

12.5~14.5°C, 実用油 15.5~17.5°C, 純水 15.5~17.5°Cである。

油圧油の試料を作製する場合、試料油の安定化(含有気体の飽和)をはかるとともにフラスコ内に不純物の侵入を避けるため、まず試料油と鋼線で満たしたフラスコを完全脱気し、次いで試料油の一部を抜きとり、フラスコ内試料油の自由表面の面積が最大になるようにして、防じん容器中で大気に24時間以上放置した。その後、このフラスコに新しい試料油を首部上方まで補充して次の実験に供した。なお、この放置時間の設定にあたっては、気体の溶解速度に関する研究³⁾を参考にするとともに実験的にその確認をおこなった。すなわち、その研究結果を本実験の場合に拡張して適用すれば24時間で十分飽和状態に達することが予知される。また、確認の実験では約20時間で所定の気体含有量に達している。水の試料を作製する場合には、イオン交換をおこなった水を防じん容器中に十分長時間放置し、その安定化をはかった。実験では少量でも一度気泡の発生をみた試料を含むフラスコの再使用はおこなわず、新規に試料を作製して次の実験に供した。

試料油の気体含有量の測定は ASTM⁴⁾ に準拠した気体含有量測定装置(図4)を用いた。実験は、装置内圧力を真空ポンプによって油圧油の蒸気圧近くまで低下させ、そこへ試料油を滴下し分離した気体の量をマクラウド真空計で測定する。気体含有量 G は次式によって計算される。

$$G = 35.9 \{ (V-v) p_2 - V p_1 \} / (273+t) v$$

ここに、 G : 気体含有量(760 mmHg, 0°Cのもとにおける試料に対する気体の体積割合%), V : 装置内体積(約

表 1 試料油の物性値

	ベース油	実用油
粘度 cSt 37.8°C	32.80	33.25
" " 98.9°C	5.30	5.47
粘度指数	104	110
比重 15/4°C	0.8687	0.8655

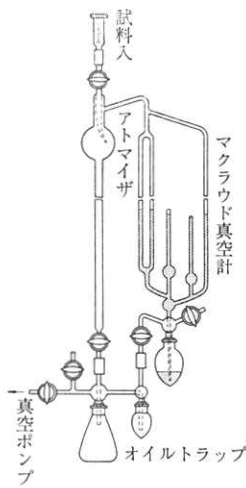


図 4 気体含有量測定装置

273 cc), v : 滴下試料の体積(0.45~0.65 cc), p_1 : 試料滴下前の最低圧力(約 10^{-3} mmHg), p_2 : 試料滴下後の最高圧力(約 5×10^{-1} mmHg), t : 装置内温度°C. 参考のため試料油の物性値を表1に示す。なお水の気体含有量はほぼ水道水(2.5%)と同程度と考えられる。

3. 実験結果と考察

1分間の揺動に対する実験結果を図5に示す。図中、少量の気泡発生とは数箇の発生気泡が存在する状態を、多量の気泡発生とは無数の発生気泡がフラスコ内に浮遊する状態をいう(図6)。なお、油圧油の場合には気泡は主として鋼線部から初生し、水の場合には主としてフラスコ壁面から初生する。実験結果から、キャビテーションの発生は圧力の絶対値とともに刺激の大きに大きく依存することがわかる。すなわち、絶対圧力の高い範囲ではキャビテーション発生

研 究 速 報

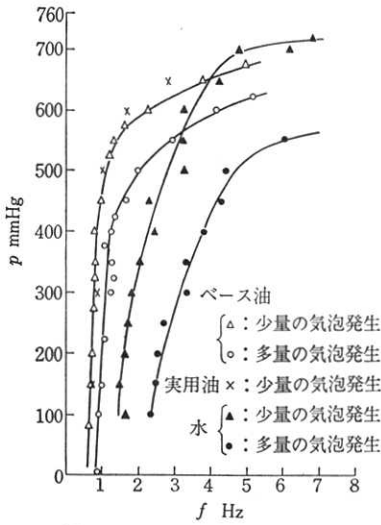


図 5 キャビテーションの発生

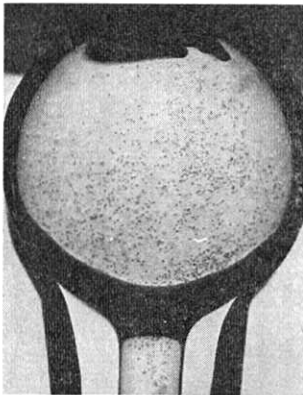


図 6 多量の気泡発生 の 状 況 例 (525mmHg, 2.5Hz)

ならびにその成長には大きな刺激を必要とし、絶対圧力の低い範囲では小さな刺激でもキャビテーションが発生し成長する。次に、揺動時間の長短による気泡発生の変化についておこなった実験結果を図 7 に示す。実験結果より、フラスコの揺動時間 1 分以上で少量の気泡が発生する場合は、その設定圧力および揺動周波数において 1 分間の揺動でも気泡が発生し、揺動時間 1 分で気泡が発生しない場合は、それ以上の揺動時間においても気泡は発生し難い。これより、実用的にみて揺動時間を 1 分間に設定して差し支えないことがわかる。

試料油のベース油および実用油について気体含有量の測定結果を図 8 に示す。

本実験に関連して、補足的なことであるが、フラスコ内に鋼球 (3mmφ) を封入した場合には、鋼線を封入した場合に比べて刺激が弱いため、キャビテーションが発生し難い結果を得た。したがって、キャビテーションの発生に関する実験としては、なるべく刺激が大きくなる

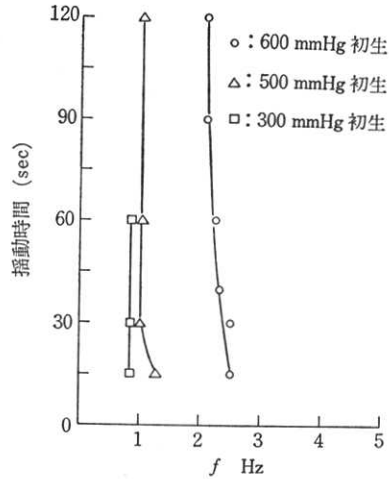


図 7 揺動時間と気泡の発生状況

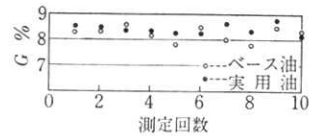


図 8 気体含有量

物体をフラスコ内に封入することが望ましい。

4. 結 語

以上、圧力の絶対値とともに刺激が油圧油のキャビテーション発生におよぼす影響を一つの比較的簡易な実験により示した。このような現象は定性的にはすでに認められていることであるが、その定量化は従来あまりおこなわれていなかった。この現象の定量的なデータはその実験装置の構造および実験方法によって相当変化するものと考えられる。学問的には刺激の内容を明確にしてキャビテーション発生機構を解明することが望まれるが、実用的には何らかの基準となる実験装置と実験方法を規定して、いわゆる空気分離圧の一般化をはかることが必要であろう。本実験は後者に対する一提案である。なお、本実験の刺激の内容の主なものはいせん断力の時間的变化であるとする。

終りに試料油の提供を受けた出光興産株式会社および 16mm シネ撮影に協力いただいた本所写真室技官岡宮誠一氏に謝意を表す。(1972 年 7 月 1 日 受理)

参 考 文 献

- 1) R. T. Knapp, CAVITATION, McGraw-Hill (1970).
- 2) 沼知・椎名, 機械学会論文集, 3 卷, 11 号 (昭 12-5), 117.
- 3) 板谷・河野, 機械学会誌, 48 卷, 322 号 (昭 20-4, 5), 75.
- 4) Standard Method of Test for Gas Content of Insulating Oils, ASTM (1948).