

高含水作動液のキャビテーション特性

Cavitation Characteristics of High Water Base Fluid

石原智男*・柴山尚士*

Tomo-o ISHIHARA and Takashi SHIBAYAMA

1. ま え が き

油圧機器に使用される作動流体として、従来から難燃性の流体が要求されてきたが、最近になって、さらに廃油処理と省資源の観点から水を95%以上含む高含水作動液を採用しようとする試みがみられる。この高含水作動液の一種として、水に鉱物油を混合したO/W型エマルジョンがある。O/W型エマルジョン中の油滴径は一般に数 μm から数10 μm で、乳化剤によってその分布が異なる。このような混相液体のキャビテーション特性には未知の点が多く、その解明が望まれている。しかし、数%の鉱物油を含むだけで、高含水のO/W型エマルジョンは不透明または半透明の液体となり、そのキャビテーション発生の有無を光学的に検出することはきわめて困難である。したがって、このような不透明混相液体のキャビテーションは、キャビテーションの発生に伴って現れる特有な状態変化、たとえば、流れの圧力波や音波の変化から間接的に観測される必要がある。蒸氣的キャビテーションの場合には、この方法が有効であるが、鉱物油などにみられる気體的キャビテーション¹⁾の場合には無効となる。そこで、本研究では不透明混相液体内の気泡の存在を検出する一方法として超音波の利用を考え、その方法によってO/W型エマルジョンのキャビテーション特性を求める。

2. 超音波利用によるキャビテーション計測

図1に示すように、発音素子から照射される音波 $S_t(t)$ は、(a)直接、(b)気泡面による反射、(c)その他の境界面による反射によって、受音素子に音波 $S_r(t)$ として受信される。図2は単一気泡が単一液体を通過したときの $S_r(t)$ の振幅Aの変化の計算例(付録参照)を、図3はエマルジョンにおけるその実験例を示す。発音素子、受音素子は円形ピストン型の電歪振動子で、その共振周波数は216 KHzである。

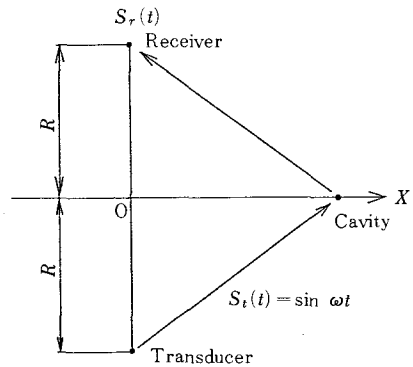


図1 測定モデル

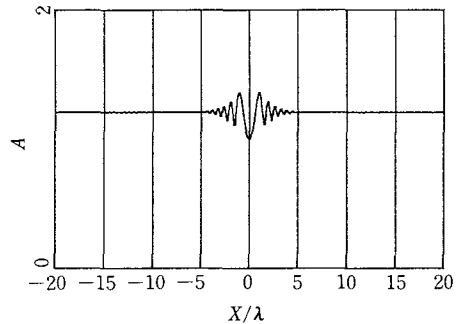


図2 計算例 (λ :波長)

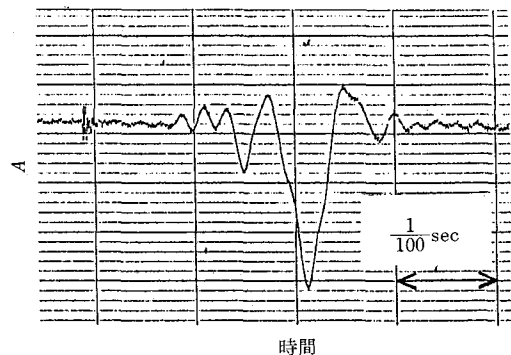


図3 実験例

*東京大学生産技術研究所 第2部

3. キャビテーション実験の装置と方法

図4に実験装置の概要を、図5に供試オリフィスを示す。オリフィス下流に、レーザ光受光信号計測、下流圧力変動信号計測、超音波受音信号計測の各装置を設け、3種類の信号計測によってキャビテーションの測定を行う。実験は下流圧力 p_d をほぼ一定に保ち、上流圧力 p_u を時間とともに増加・減少させる。

3.1 水道水による計測方法の検討

図6に水道水を用いた場合のキャビテーション発生時

の信号計測例を示す。図から、レーザ光受光信号の変化と超音波受音信号の変化とが良く対応し、キャビテーションの初生・消滅が明確に検出される。すなわち、超音波計測がレーザ光計測と同程度に有効であることが認められる。超音波照射がキャビテーション発生に影響を及ぼさないよう、そのエネルギーレベルをきわめて小さく選んであるが、その吟味のため、超音波照射の有無による消滅点におけるキャビテーション係数 K_d の変化の程度を求めたのが図7である。ここに $K = (p_d - p_v) / (p_u - p_d)$ 、 p_v : 蒸気圧、添字 i : 初生点、添字 d : 消滅点、 $R_o = vd/\nu$ 、

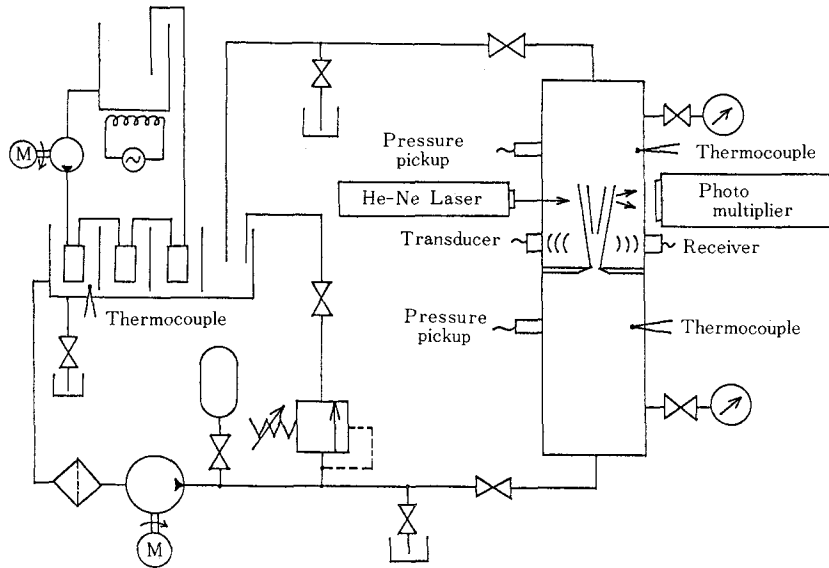


図4 実験装置

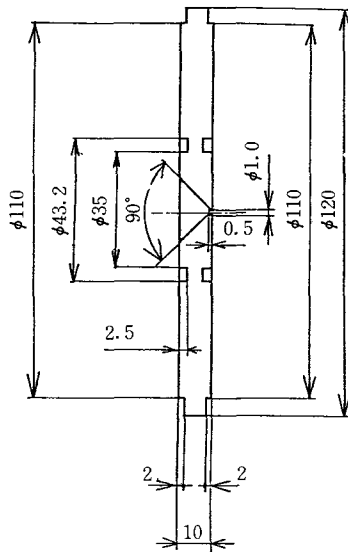


図5 供試オリフィス

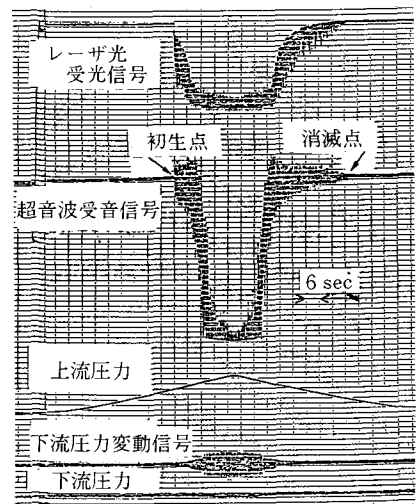


図6 水道水におけるキャビテーション測定結果

研究速報

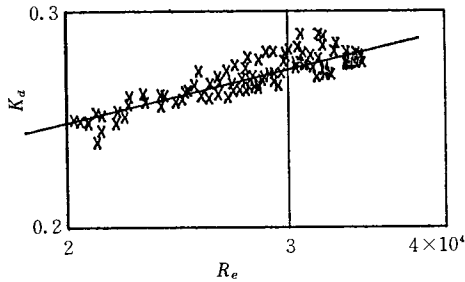


図7-1 水道水のキャビテーション係数 (レーザ, 超音波)

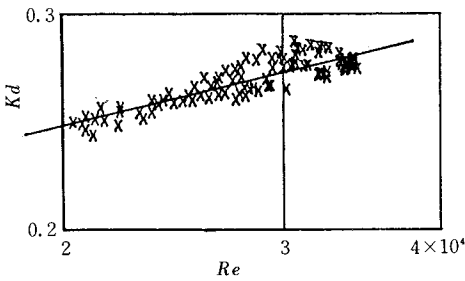


図7-2 水道水のキャビテーション係数 (レーザ)

v :オリフィス平均流速, d :オリフィス直径, ν :動粘度.
初生点におけるキャビテーション係数 K_i についても超音波照射の有無による差異は認められないが, 実験値のばらつきはきわめて大きい. これらのことから, 超音波照射のキャビテーション発生に及ぼす影響は無視してよいものと考ええる.

3.2 エマルションにおける実験

供試エマルションは, (a) 鉱物油 (出光 P-500), (b) ポリオキシエチレングリコール・モノオクタデシルエーテル, (c) ソルビタンモノオレエート, (d) イオン交換水のそれぞれの混合による O/W 型エマルションで, その質量配分を表1に示す. 毛細管粘度計によって測定されたみかけの粘度を図8に示す. 図9に供試エマルションのキャビテーション発生信号計測例を示す. 図には, 下流圧力変動を伴わないキャビテーションすなわち気体的キャビテーションの発生がみられ, 超音波計測の特長が認められる.

4. O/W型エマルションのキャビテーション特性

図10に消滅点のキャビテーション係数 K_d とレイノズ数 Re との関係を示す. 図中, 参考のため水道水の実験値を併記してある. なお, エマルションの蒸気圧には, 便宜上水の蒸気圧を用いてある. 図より2.5%エマルションを除いて水道水のキャビテーション特性に近い値となっていることがわかる. エマルションの場合には水道

表1 供試エマルション成分の質量配分

成分	O/W 型エマルション		
	2.5%	5.0%	7.5%
(a) 鉱物油	2.0%	4.0%	6.0%
(b) 乳化剤 (1)	0.4%	0.8%	1.2%
(c) 乳化剤 (2)	0.1%	0.2%	0.3%
(d) イオン交換水	97.5%	95.0%	92.5%

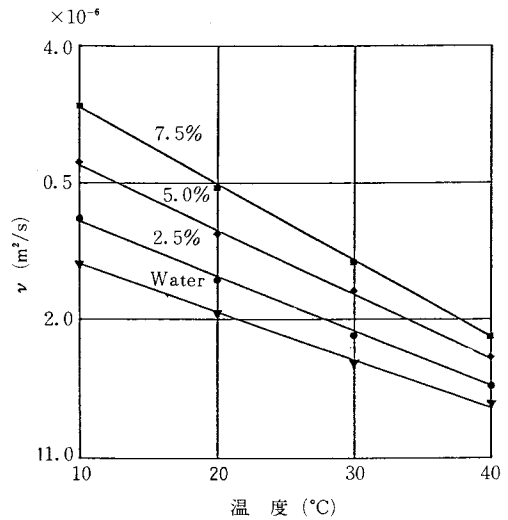


図8 供試エマルションの動粘度

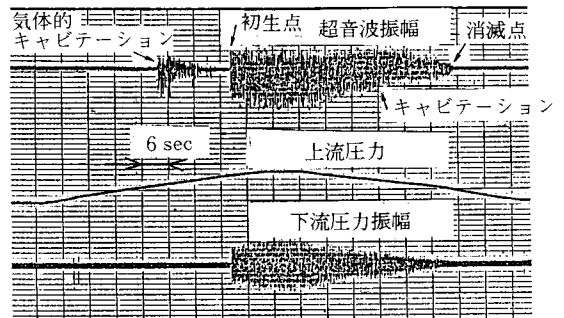


図9 7.5%エマルションにおけるキャビテーション測定結果

水に比べて初生点のキャビテーション係数のばらつきは比較的小さい. なお, 参考のため, 供試エマルションの顕微鏡写真を図11に示す. エマルションの安定性にはその混合方法が大きな影響をもつものと考えられ, 混合方法や放置日数によってキャビテーション係数に差異を生じる. このことについては, 今後の詳細な研究を必要とする.

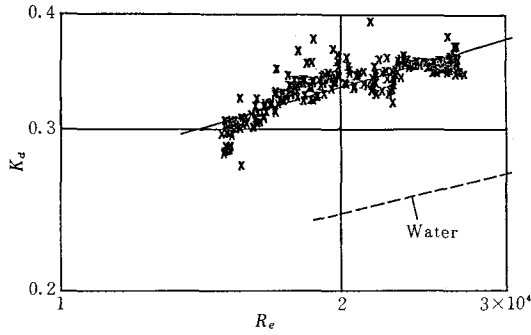


図 10 - 1 2.5%エマルジョンのキャビテーション係数

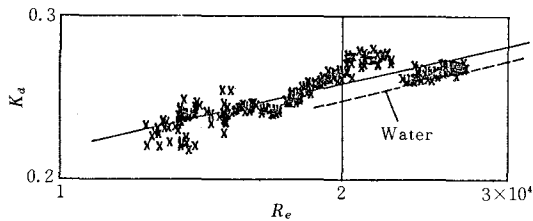


図 10 - 2 5.0%エマルジョンのキャビテーション係数

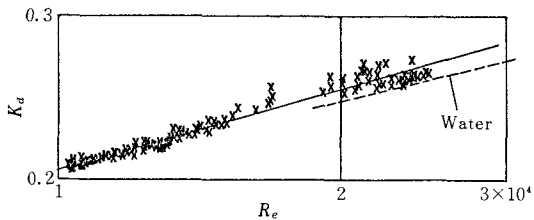


図 10 - 3 7.5%エマルジョンのキャビテーション係数

5. あとがき

本研究によって、不透明混相液体のキャビテーション測定に超音波を用いることの可能性を示すとともに、O/W型エマルジョンのキャビテーション特性のもつ特異性を明らかにした。

本研究にあたって、実験については第4部鈴木研究室各位、正司秀信講師、斎藤誠技官、試料の提供については出光興産、日本油脂の関係各位の協力を得たことを記し謝意を表す。なお、本研究の一部は文部省科学研究費の補助による。(1981年4月25日受理)

付録 超音波利用の気泡測定原理

図1の x 軸上に微細な気泡が1個存在するとき、 $S_i(t)$ と $S_r(t)$ の関係は次式で表される。

$$S_r(t) = \varphi_0 e^{-4\alpha R} S_i(t - 2R/c) + \rho c D(\theta_i) D(\theta_r) \times \varphi_c e^{-4\alpha \sqrt{R^2 + X^2}} S_i(t - 2\sqrt{R^2 + X^2}/c) + \sum \rho D(\theta_i) D(\theta_r) \varphi e^{-2\alpha L} S_i(t - L/c)$$

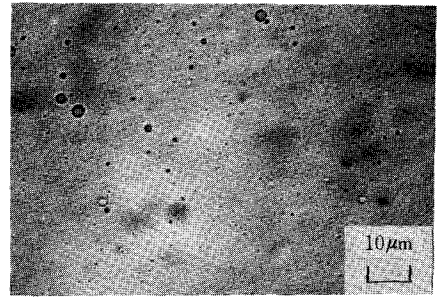


図 11 - 1 2.5%エマルジョンの組織

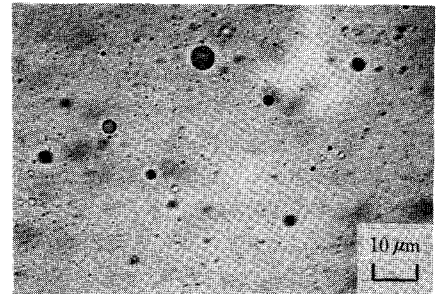


図 11 - 2 5.0%エマルジョンの組織

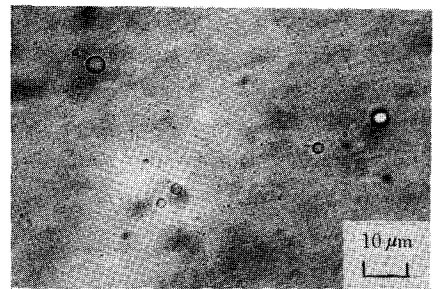


図 11 - 3 7.5%エマルジョンの組織

ここに φ_0 , φ_c , φ : 拡散による振幅減少を考慮した仮想音源からの距離の関数, ρ_c , ρ : 気泡表面およびその他の境界面における反射率, α : 吸収係数, $D(\theta_i)$, $D(\theta_r)$: 発音素子および受音素子から反射点をみた指向角 θ_i , θ_r の関数で表される指向性関数, L : 発音素子-反射点-受音素子間の距離, c : 音速。

第1項は発音素子から直接受音素子に入る音波を, 第2項は発音素子から気泡表面により反射されて受音素子に入る音波を, 第3項は発音素子からその他の境界面により反射されて受音素子に入る音波を表す。(1981年4月25日受理)

文 献

- 1) 石原ほか: 油圧作動油の非定常流れにおけるキャビテーションの一実験, 機械学会論文集 44, 388 (1978)