

# キャビテーション核数の一推定法

川又 正昭\*, 吹田 年\*, 加藤 栄二\*, 澤幡 敬智\*\*

(昭和57年9月8日受理)

## An Approximate Measuring Method for the Cavitation Nucleus

MASAAKI KAWAMATA, MINORU SUITA, EIJI KATO and YOSHITOMO SAWAHATA

**Abstract** – For the investigation of the phenomena of cavitation due to water hammer in the pipe line, number of the cavitation nucleus play an important role. For this reason, the various methodes were developed for determining the bubble nuclei spectrum.

In this paper, the number and size of the bubble on the cavitation inception are measured by the visualization of the cavitation due to water hammer to be generated by rapid closure of the butterfly valve which is set up at the upstream end of the pipe line.

As the results, we consider that this method has possibility to deduce the cavitation nucleus.

### 1. まえがき

キャビテーションを伴う管路系の水撃現象を解明するに当り、キャビテーション現象そのものの把握が重要である。弁や曲りを含む管路系、流体機械内等に発生するキャビテーションは昔から多くの研究がなされているが<sup>(1)</sup>、その発生機構に関して十分に解明されたとは言い難い。特にこれらの現象の解明に当り、キャビテーションの初生点あるいは発生の様相は、液体中に含まれるキャビテーション核の形状、大きさ、あるいは個数に大きく依存すると考えられている。故にこのキャビテーション発生の元となるキャビテーション核数の測定が重要なポイントになってくる。現在までにキャビテーション核数の測定法には種々の方法が提案されているが、それぞれ一長一短あり、技術的にも相当のテクニックを必要とする<sup>(3),(4)</sup>。

我々は水平に設置した比較的長い管路の上流に設置したバタフライ弁を急激に閉鎖すると生ずる水撃現象を解明するに当り、まず弁直後に発生するキャビテーションを可視化し、ある程度成長したキャビテーションを写真撮影する事によりキャビテーション核数を推定しよう

とするものである。本法は比較的簡便であり、ある程度のキャビテーション核数を推定する事が出来た。

### 2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。配管系は内径約 51 mm の市販の硬質塩化ビニル管を水平に設置して使用した。管路の上流端および下流端にそれぞれオーバー

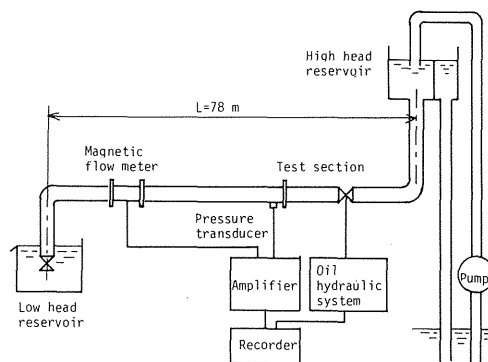


Fig. 1 Experimental apparatus

\* 茨城大学工学部機械工学科 (日立市中成沢町)

\*\* 茨城大学大学院工学研究科機械工学専攻 (現, 日立製作所)

フロータンクを設け、その水頭差は8.4 mとした。管路上流端より4.4 mの所に水撃を発生させるためのバタフライ弁を設置し、その直後にキャビテーション観測部を透明マクリル板で作った。バタフライ弁より下流端までの管路の長さは78 mである。バタフライ弁の駆動には油圧装置を使用し、油量の調整により弁の閉鎖時間を自由に変えられるようにした。流量測定は管路に設けた電磁流量計で行い、キャビテーション観測部直後の圧力変動は歪ゲージ式圧力変換器で取らえ電磁オシログラフに記録した。Fig. 2 はキャビテーション観測部の詳細図

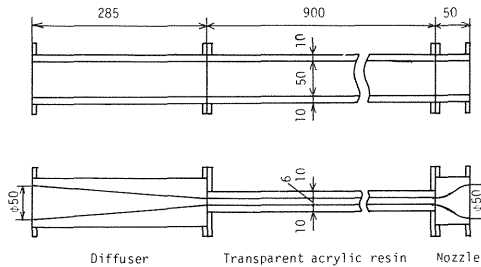


Fig. 2 Test section

を示す。この観測部はキャビテーションの気ほう数を測定する目的のため奥行きを狭くし、6×50mmの長方形断面をもつ長さ900 mmの流路とした。材料は厚さ10mmの硬質透明アクリル樹脂板を使用し、その前後にノズルとディフューザーを設け、流れにはく離が起こらない様注意した。観測部を出来るだけバタフライ弁に近づけるためノズルの長さは50 mmとした。本実験装置では、観測部の長方形断面内の最大平均流速は6.87 m/sであり、この定常流れにおいてはノズル部、ディフューザー部を含む観測部内ではキャビテーションの発生は見られず、ノズル上流に取付けたバタフライ弁のみによりキャビテーションが発生することを確認した。Fig.3は

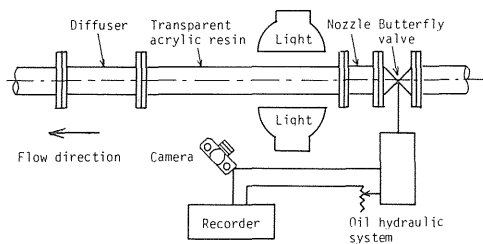


Fig. 3 Schematic diagram of circumference of the test section

観測部周辺の概略図を示す。ノズル部上流に取付けられたバタフライ弁はラックとピニオンを介して油圧シリンダーにより開閉を行う。キャビテーション現象の撮影には観測部50mm幅を正面とし、そこにカメラを設置し、観測部6 mm幅の上下より500Wのよう素ランプ2灯で照明した。カメラはモータードライブカメラを使用し、弁駆動用の油圧シリンダーと連動し、弁閉鎖開始より弁閉鎖後までのキャビテーション発生状況の時間的推移を連続的に写真撮影した。また、より詳細なキャビテーションの発生状況を見るために、高速度カメラも使用した。

本実験に使用した試料水は実験室内の地下水槽の水を使用した。水は揚水ポンプにより実験装置の上流端オーバーフロータンクに揚水され、観測部管路を通り下流端オーバーフロータンクより地下水槽へと循環している。地下水槽の容量が非常に大きいので一度キャビテーションを発生した水が直ちに次の実験に使用される事は、まず無いと考える。実験条件は観測部の初期流速が2.47～3.70 m/sの範囲、弁閉鎖時間は0.46～2.66秒の範囲で、キャビテーション発生に適した数種類の任意の組合せで実験を行い、キャビテーションの発生状況を写真撮影した。キャビテーションの気ほう数を測定するため、撮影した写真より測定に適した写真を選び、そのフィルムを投影器で7倍に拡大し、7 cm×7 cmの正方形内の気ほう数を数え、同時に平均半径も測定した。また同一フィルム内の広い範囲に亘り同様な測定を数ヶ所について行ってその平均を出した。キャビテーションは弁閉鎖後、圧力波の管路内の往復により数回発生するが、気ほう数の測定には主に第1回目のキャビテーション発生の写真を用いた。

### 3. 実験結果および考察

高速度カメラを使用し、キャビテーションの気ほうの成長合体について調べた。高速度撮影による16mmフィルムは増感現象のため粒子が荒く分解能は劣るが、ある程度以上に成長した気ほうの挙動を把握することが可能である。撮影速度は1000～3000 fpsの範囲で行い、それらのフィルムについて解析した結果、気ほうの合体は半径0.25mm程度から起こり始め、平均して半径0.3mm以上のものが多く合体する。このことから、気ほうが気ほう核から逸出して可視的な大きさ半径0.1mm以上になるまでの合体は少ないものと考えられる。以上の事から、測定には気ほう半径が約0.1mm～0.25mm程度に成長した

気ほうを主として対象に測定した。

Fig. 4 にキャビテーションの発生の様子を 35 mm

のモータードライブカメラにより連続撮影した一例を示す。観測部の初期流速は 3.06m/s, 弁閉鎖時間1.14秒,

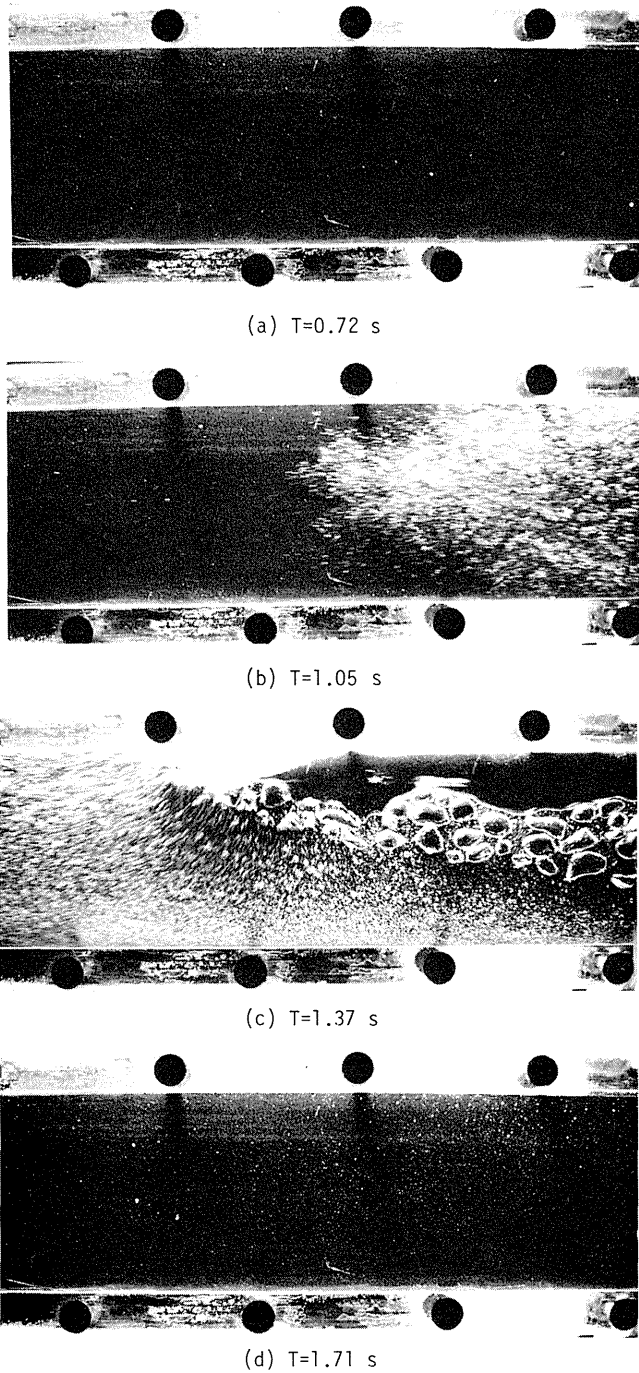


Fig. 4 Example of still photographs for cavitation in the test section

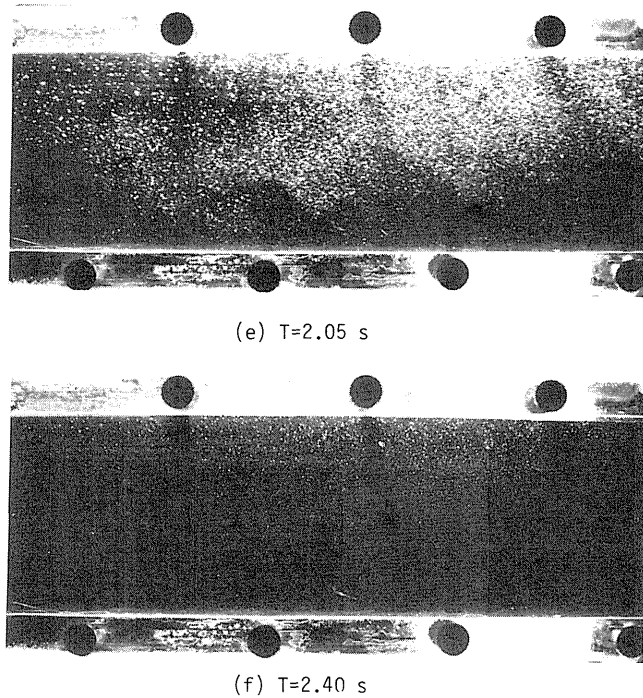


Fig. 4 Example of still photographs for cavitation in the test section

水温は11.4℃で、撮影条件はシャッタースピード1/2000秒、絞り4、フィルムの感度はASA400を使用した。また、モータードライブカメラのコマ数は1秒間に約3コマで撮影を行った。流れは右より左で(a)は弁閉鎖開始より0.72秒後の写真で、まだキャビテーションの発生は見られない。(b)は弁閉鎖開始より1.05秒後すなわち弁閉鎖0.09秒前の写真であるが、すでにキャビテーションによる気泡が発生し下流方向に流れている。(c)は弁閉鎖開始より1.37秒後の写真で気泡は大きく成長し合体し、観測部上部に大きな空洞を作っている。また管内の圧力波が下流端より反射し戻ってきて気泡が逆流し(写真で左から右)、空洞部が消滅し始めている。(d)は弁閉鎖開始より1.71秒後の写真で管内の圧力波の戻りでほとんどの気泡が消滅している。(e)は弁閉鎖開始より2.05秒後の写真で2回目のキャビテーションによる気泡が発生している。(f)は弁閉鎖開始より2.40秒後の写真で2回目の圧力波の戻りで気泡の消滅が見られる。以上の様な水撃現象を数回繰り返しながら管内圧力は減衰振動し、一定の圧力になる。以上の様な現象写真を多数撮り、気泡数測定に適した写真を選び出し、気泡数および気泡半径の測定を行った。Fig. 5に測定に使用した写

真の一例を示す。この写真の様に気泡同士の合体が起こらない程度に成長した、多数の気泡が分布している写真を測定に使用した。Table 1に種々の条件において得られたキャビテーションにより発生した単位体積当りの気泡数および気泡半径を示す。しかしながら、この気泡半径はキャビテーションにより生じた気泡の成長過程におけるものであり参考までに載せたものである。これらの個々のデータはそれぞれ同一写真の数ヶ所について測定した平均値を示している。年間を通じて実験を行い、水温は8.0~28℃の範囲で行った。その結果、水温の違いによる差違はほとんど見られず、気泡数は179~464個/cm<sup>3</sup>の間で分布しており、その平均は285個/cm<sup>3</sup>であった。この結果は既に発表されている光の散乱を利用した方法によって測定されたものと比較して同程度の数である<sup>(5)</sup>。また各ブロックは実験に使用した試料水の違いで、地下水槽に水道水を溜め、直ぐ使用したものとか、しばらく放置してから使用したものなどの別である。しかしながら、本実験において試料水による差違は明確に現われていない。以上の結果はバタフライ弁閉鎖後に生ずる第1回目のキャビテーションの写真の元に調べた結果である。

Table 1 Results of measurement in the various conditions

Block No.	Water temp. $T_w$ °C	Bubble number $N$ 1/cm <sup>3</sup>	Bubble radius $r$ mm	Initial velocity $V$ m/s	Closing time of valve $t$ sec
1	8.2	239	0.21	3.42	2.66
	8.2	244	0.25	3.44	0.63
	8.2	215	0.17	2.78	0.72
	8.2	250	0.20	3.25	1.10
	8.2	325	0.17	3.24	1.32
	8.2	369	0.18	3.27	1.30
2	8.0	228	0.17	3.21	0.59
	8.2	244	0.14	3.30	1.08
	8.2	226	0.14	3.51	0.85
	8.7	259	0.11	2.85	0.61
	8.7	233	0.06	2.77	0.49
	8.7	264	0.06	2.61	0.50
	8.7	236	0.10	2.58	0.46
	8.7	199	0.08	2.51	0.57
	8.7	179	0.10	2.66	1.01
	8.7	197	0.15	2.99	1.26
	8.7	349	0.12	2.59	0.79
	8.7	375	0.13	2.61	0.70
	8.7	217	0.15	2.47	1.94
	8.7	464	0.14	2.47	1.12
8.7	304	0.21	3.33	0.70	
8.7	250	0.20	3.70	0.68	
9.7	357	0.11	2.85	0.60	
3	11.4	198	0.15	3.06	1.14
	11.8	277	0.19	2.90	2.00
	11.8	309	0.15	3.13	0.63
	12.0	418	0.06	2.93	1.02
	12.0	419	0.05	2.95	1.02
	12.0	381	0.16	2.95	0.92
	12.1	254	0.25	3.06	0.62
	12.1	315	0.22	3.13	0.58
	13.0	327	0.19	2.97	0.51
	13.7	301	0.19	2.90	0.69
4	26.0	276	0.27	2.62	0.50
	26.0	227	0.23	2.68	0.56
	26.0	332	0.11	2.68	0.50
	28.0	300	0.19	2.62	0.52
	28.0	212	0.13	2.62	0.51
	28.0	349	0.19	2.62	0.51

前述した様に管内の圧力波の往復により数回キャビテーションが発生するが、第2回目のキャビテーション発生時の気ほう数と第1回目の気ほう数との比較の一例をTable 2に示す。この結果、第1回目のキャビテーション発生時の気ほう数に比べて第2回目の気ほう数の方がやや少なくなっている。この事は第1回目のキャビテーションにより発生した気ほうが成長合体するため、圧力の上昇により消滅したとき、元の気ほう核数に戻らないためと考えられる。

本観測部は幅が6mmあるので、当然ながら2つ以上の気ほうが重なって見える場合も考えられるが、高速度カメラによる撮影結果から、その割合に少ないものと考えられる。また水撃の強さによるキャビテーション発生の大小により、気ほう発生数に多少の影響が考えられるが、本研究での範囲ではその差違はほとんど見られなかった。本法においてはキャビテーションの元となる気ほう核数を把握することが可能であるが、気ほう核の大きさの測定は不可能である。故に気ほう核数のみの測定であれば、

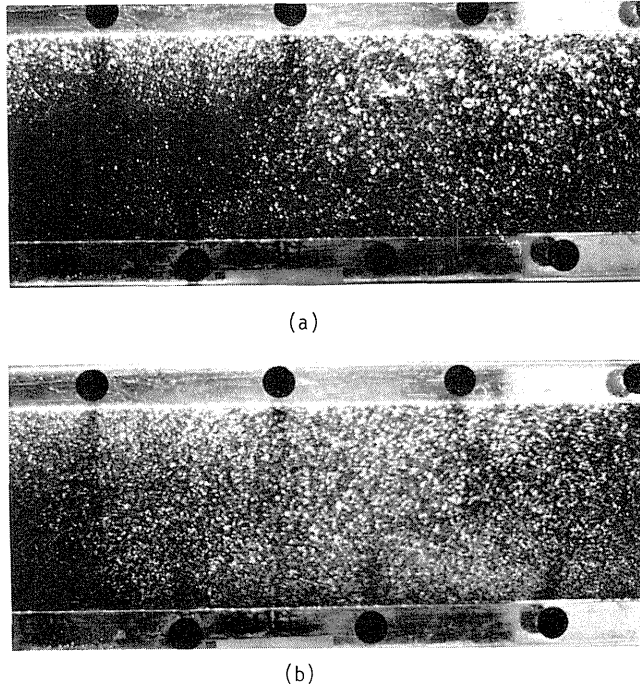


Fig. 5 Example of still photographs for using measurement of bubble number

Table 2 Comparison between first and second cavitation

Water temp. $T_w$ °C	First cavitation		Second cavitation	
	Bubble number <sub>3</sub> $N$ 1/cm <sup>3</sup>	Bubble radius $r$ mm	Bubble number <sub>3</sub> $N$ 1/cm <sup>3</sup>	Bubble radius $r$ mm
8.2	239	0.21	229	0.21
8.7	464	0.14	422	0.09
9.7	357	0.11	310	0.11
11.8	309	0.15	226	0.08
12.1	254	0.25	203	0.24
13.0	327	0.19	225	0.19

本法において比較的簡便に、その概略を把握することが出来ると考える。

#### 4. むすび

本研究によって得られた結果から、可視化によるキャビテーション発生時の気ほう数の測定法は比較的簡便であり、気ほう核数の一推定法として十分使用できるもの

と考える。

終りに本研究を進めるに当たり、熱心の実験に当られた当時の卒業研究生の諸君に謝意を表します。

#### 5. 文 献

- 1) Knapp, R. T. et al., Cavitation, McGraw-Hill, New York (1970).

- 2) Holl, J. W., Nuclei and Cavitation, J. Basic Engng., Trans. ASME, Ser. D, Vol. 92 (1970), 681.
- 3) 村井, 渡辺, キャビテーションに関連した計測法, ターボ機械, 5-12, (1977-12), 23.
- 4) 大場, 安, レーザ流速計によるキャビテーション核の空間分布の測定, 流体工学, Vol. 14 No. 7, (1978-7), 382.
- 5) Keller, A., Proc. Cavitation Conf., C159/74 (1974), 109.