

# 泉北工場水理実験施設におけるキャビテーション核分布の測定

岩崎 正博\*

## Measurement of Cavitation-Nuclei-Distributions in our Cavitation Tunnel

Masahiro Iwasaki

In order to establish the necessary condition for such cavitation experiments in our open type cavitation tunnel, the cavitation nuclei distributions were carefully measured in the test water sampled from a fixed point in the stilling reservoir for a typical flow quantity, by means of a Coulter counter. It is worth noting that in our cavitation tunnel, the nuclei distributions scarcely change with time in the entire working period past the initial unstable period. The waiting time to stabilize the distribution is also defined.

### 1. 緒 言

「試験水槽が異なると、同一のキャビテータ、キャビテーション係数のもとでもキャビテーションの様相が著しく異なる」という既存の試験結果の再検討を迫るジョンソン効果が見いだされ<sup>1)2)</sup>、その支配因子たる試験水槽内のキャビテーション核（以下単に核という）分布の時間空間的特性の究明とその測定法の確立が緊要とされている<sup>3)~5)</sup>。

周知のように、試験水槽内の水中に統計確率的に分布している核は、絶えず生成・崩壊を繰り返しているようから、流体機器のキャビテーション試験においては、試験水槽内核分布の経時変化の十分な把握が不可欠な条件となる。この意味において、流体機器の性能保証試験に直接利用される企業内のキャビテーション試験水槽の核分布特性には重大な関心が持たれる。

一方、「核の経時変化に対する大形地下貯水槽あるいはレゾナバ効果<sup>6)7)</sup>」あるいは、「対象としているキャビテーションが核分布に敏感であるかどうか<sup>1)~7)</sup>」等が既に報告されている。ごく最近、核分布がほぼ安定している期間とそれ以前の安定化待ち期間とで、キャビテーションの様相に大差が現れることが報告され<sup>8)</sup>、この安定化待ち

期間の定量的決定法の解明も待たれている。

よって本報では、栗本鉄工所泉北工場の大形の地下貯水槽を持つ放流式試験水槽を取り上げ、その試料水の核分布の経時特性をコールタ・カウンタ<sup>9)</sup>により測定し、核分布が一樣となる安定期間とそれに先立つ安定化待ち期間<sup>7)</sup>の特性を定量的に解明し、「安定化待ち時間は、分布曲線の勾配と核体積濃度の変化により一義的に決定される」こと等を明らかにする。

### 2. 実験装置および方法

#### 2.1 キャビテーション保証試験水槽

図1には、各種キャビテータのキャビテーション保証試験に使用してきた放流式試験水槽とそれに付属の大形地下貯水槽（容量約159m<sup>3</sup>）の概要を示す。試料水はポンプ(A)の上流の地下貯水槽(C)に没水させてある吸込管(B)（水面下2mに吸込口がある）より汲み上げられ、口径φ300mmの管路を通り、途中、流量調節用ポリジェットバルブ(C)、電磁流量計(D)、バタフライバルブ(E)を介して吐出し管(F)（口径φ250mm、水面下0.5mに吐出し口がある）より地下貯水槽(C)に還流される。吐出し管と吸込管の直線距離は約9mであり、吸込管の周囲には大気泡の強制浮上と整流を目的とするスクリーン(H)が設けられている。

\* パルプ事業部パルプ設計部

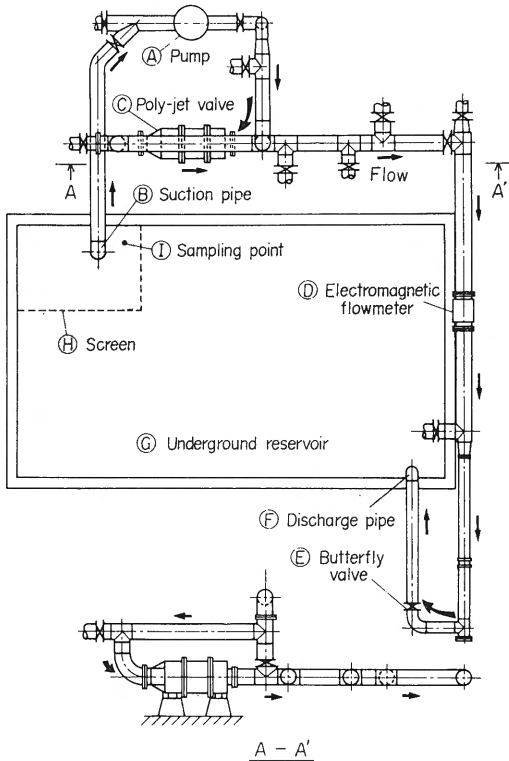


図1 キャビテーション保証試験水槽  
Fig. 1 Our open type cavitation tunnel

## 2.2 コールタ・カウンタ

試料水中の核分布の測定には、特製のコールタ・カウンタを使用した。すなわち、コールタ・チューブのルビー製オリフィスの孔径は0.209 mm、孔長は0.157 mmである。本コールタ・カウンタの構成、検定および測定法の詳細については文献<sup>8)</sup>を参照されたい。

## 2.3 実験方法

この試験水槽では各種の機器が供試され、代表的なキャビテータが特定できないため、ここでは、地下貯水槽、ポンプ、バルブ、曲り管等の試験水槽固有のキャビテータのみの効果に着目しよう。また、試験条件としては、本試験水槽がキャビテーション試験に最も多用されている流量  $Q \cong 0.28 \text{ m}^3/\text{s}$  (したがって、 $\phi 300 \text{ mm}$  の管内平均流

速は  $V \cong 4 \text{ m/s}$ ) を選定した。地下貯水槽内の試料水中の核分布の経時変化は、ポンプを始動させる前に24時間静置しておいた状態から、ポンプを始動し、バルブ<sup>⑤</sup>を調節して所定の流量  $Q$  に保ってから6時間経過後まで測定した。ここで、時刻  $t$  の始点は、ポンプを作動後、所定の流量に達したことを電磁流量計で確認した時点である。

核分布の測定に際しては、試料水は、地下貯水槽に設けられているスクリーン内部で、水面下2 mの吸込管入口付近<sup>①</sup>より約  $3000 \text{ cm}^3$  採取している。コールタ・カウンタによる1回の核分布測定時間は120 sで、この間にコールタ・チューブのオリフィスを通じた試料水の量は  $4.7 \text{ cm}^3$  であった。なお、工業用水である本試料水の固有抵抗値は  $140 \sim 200 \text{ m}\Omega$  で、通常キャビテーション試験に使用されている水道水あるいは水道水と地下水の混合水より少し大きかった。

## 3. 実験結果

図2には、設定流量  $Q \cong 0.28 \text{ m}^3/\text{s}$  (一定)のもとに、この試験水槽付置の地下貯水槽内の試料水中の核分布の経時変化を、地下貯水槽内へ導水後約24時間大気中に放置した静置状態の  $t = -1 \text{ h}$  から起動後  $t = 6 \text{ h}$  まで対比した結果を示す。空気含有度  $\alpha/\alpha_s \cong 1.04$  であり、まず、核の数密度分布関数  $N_n\{(d_{n1} + d_{n2})/2\} = (\text{直径 } d_{n1} \text{ と } d_{n2} \text{ 間の核の単位体積当りの数}) / (d_{n2} - d_{n1})$  と幾何平均直径  $d_n = (d_{n1} + d_{n2})/2$  より、いずれも両対数グラフ上では一本の直線で表されることが見てとれる。そして、 $t$  の増加とともに直線の勾配は大きくなる傾向 (特に  $d_n < 20 \mu\text{m}$  の小さい核の数が增大する) があるが、 $t \geq 2 \text{ h}$  では、ほぼ定常値に近づく。すなわち、このキャビテーション試験水槽は、約2時間の安定化待ち時間の後には、核分布がほぼ一定となり安定する\*1試験水槽であることが認められる。

図3には、参考までに  $t = 3 \text{ h}$  の結果と、各種の試験水槽および地下貯水槽内の水の核分布<sup>7),9)</sup>とを対比してみた。明らかに、この試験水槽は、大

\*1 本核分布測定法ではかなりの測定時間を要するため、核分布の急激な変化には追従できない。

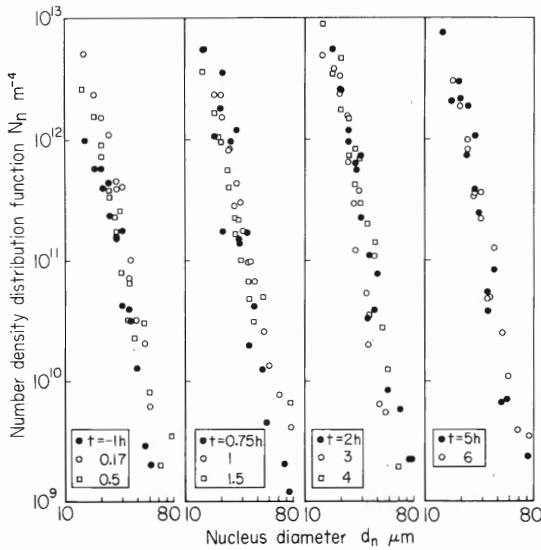


図2 地下貯水槽内の試料水中の核分布の経時変化 ( $N_n \sim d_n$ の関係)  
 Fig. 2 Change in nuclei-size-distribution with respect to time  $t$  (Relation between  $N_n$  and  $d_n$ )

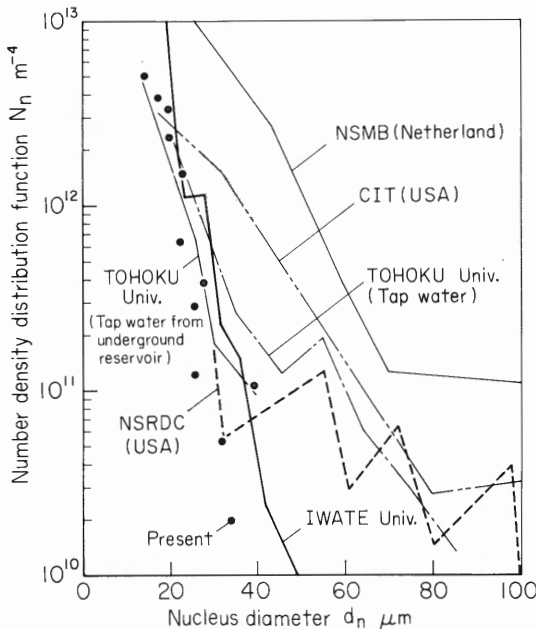


図3 各種試験水槽における核分布との比較  
 Fig. 3 Comparison with the existing data on nuclei-size-distribution in water

きな自由表面を持ち、しかも、水の流動が準静水状態に保たれているためか、 $d_n > 40 \mu\text{m}$ の大きい核が少ない傾向がある。さらに、ほかの放流式試験水槽あるいは地下貯水槽内の核分布<sup>7)</sup>とも良く一致しているので、ここで使用した程度の貯水槽を持っていれば、貯水槽内の水の核分布は意外と同じ値に保たれ得ると言える。この事実は、今までのキャピテーション試験にとって明るい見通しを与えるものになる。

図4には、図2のデータを核の数  $N$  と  $d_n$  の関係として示してある。この  $N \sim d_n$  のデータを基にしよう少し核分布の性質、特に安定化待ち時間前後のそれについて調べてみよう。

まず、これらの両対数グラフ上では、 $N_n \sim d_n$  の関係が直線で表されるから、

$$N(d_n) = a \cdot d_n^m$$

とおくことにする。

このべき指数  $m$  を図4のデータから求め、その経時変化を図5(a)に示した。核分布が不安定的に大幅に変化する  $t < 2\text{h}$  なる安定待ち期間と、核分布の変化が少ない  $t > 2\text{h}$  の安定期間の境界として  $t_{\text{wait}} \cong 2\text{h}$  の安定化待ち時間を定義しておこう。さて、この安定期間においても、べき指数  $m$  は少しばらつくが、おおよそ  $m \cong -4$  程度である。一方、安定化待ち期間においては、時間とともに  $m$  は  $-4$  から  $-2.7$  まで大幅に変動している\*2。よって、たとえそのほかの試験条件が同一に保たれていたとしても、安定化待ち期間内におけるキャピテーションの様相は大幅に経時変化することになる。したがって、核分布の経時変化に応じたキャピテーションの様相の変化が明白な場合以外は、安定期間における試験が望まれる。この安定期間内における核分布は大略

$$N = 5.8 \times 10^{-12} \cdot d_n^{-3.8}$$

で近似できるから、初生への核分布の影響を解明する際にはこの分布式の利用が可能であろう。

さらに、上記の分布式を用いて、各時刻  $t$  における全部の核 (対象とした核の最小径と最大径はそれぞれ  $d_{n\text{min}} = 14 \mu\text{m}$ 、 $d_{n\text{max}} = 60 \mu\text{m}$  である\*3)

\*2 安定期間内の  $m$  値は、核の測定法が異なっても、通常測定されている値に近い<sup>10)~12)</sup>。

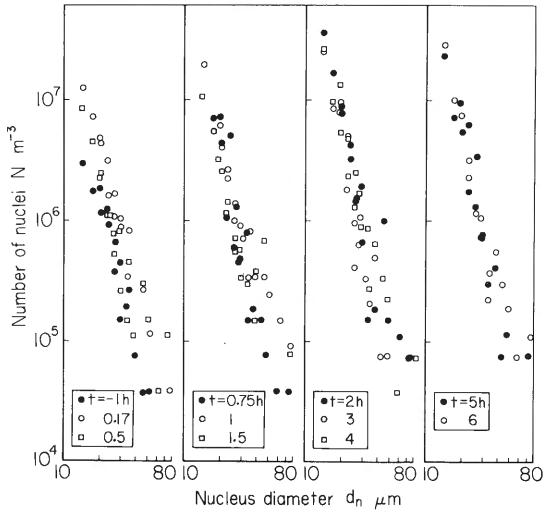


図4 地下貯水槽内の試料水中の核分布の経時変化 ( $N_n \sim d_n$ の関係)  
 Fig. 4 Change in nuclei-size-distribution with respect to time  $t$  (Relation between  $N$  and  $d_n$ )

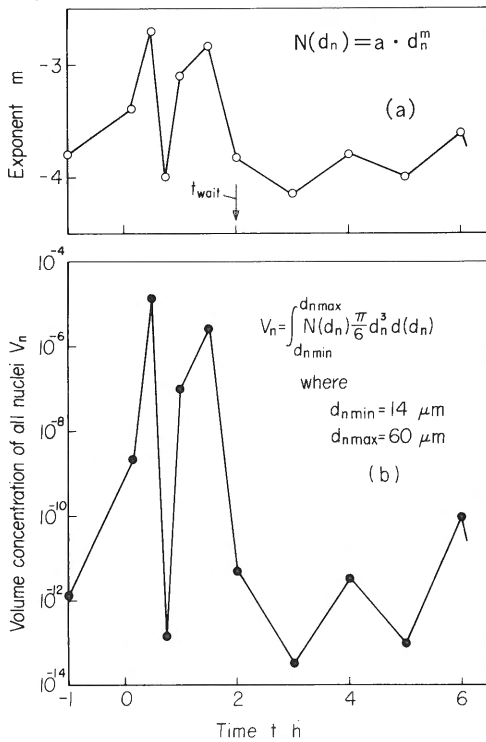


図5 核分布より求めた(a)べき指数  $m$  と (b)体積濃度  $V_n$   
 Fig. 5 Time dependences of the exponent  $m$  and the volume concentration of all nuclei  $V_n$

の体積濃度  $V_n$  を算定した結果を図5 (b) に示してみた。 $V_n$  は次式で定義した。

$$V_n = \int_{d_{nmin}}^{d_{nmax}} N(d_n) \frac{\pi}{6} d_n^3 d(d_n)$$

当然ながら、やはり  $V_n$  が急減しほぼ一定値となる  $t_{wait} \cong 2h$  と安定期間が求まる。このような安定化待ち時間内では、この貯水槽内に流れが生じ、誘起された乱れによってやや過飽和状態にある水中で核の成長が刺激され、不安定な核分布状態になっているのであろう。明らかに、安定化待ち時間内において、 $V_n$  は  $10^{-13}$  から  $10^{-5}$  まで時間とともに大幅に変動し、核分布が非常に不安定に変化していくことを示している。しかし、安定期間内では、 $10^{-13} \leq V_n \leq 10^{-10}$  と  $V_n$  値は小さく、かつ、その変動幅も小さく抑えられている。なお、核分布の測定法は異なるが、 $V_n$  値として、 $10^{-12} \sim 10^{-11}$  という値<sup>11),12)</sup> が提示されているが、この値は本実験の核分布の安定期間内の変動幅内に収まっている。いずれにしても、本試験水槽においては、多数の微小径核を基盤として、かなり再現性のあるキャビテーションが安定的に発生する確率が高くなることを意味しており、この試験水槽が優れている理由の一つと言えよう。

#### 4. 結 論

現実には、流体機器メーカーが性能保証試験に使用している代表的なキャビテーション試験水槽内の水中の核分布特性の解明を目的とし、放流式キャビテーション試験水槽用の地下貯水槽内の核分布の経時変化を、特定のキャビテータなしの所定の流量状態において、コールタ・カウンタにより測定した。得たる結果を要約するとつぎのようになろう。

(1) 核分布を表すべき乗式を特徴づけるべき指数  $m$  ( $N \propto d_n^m$ ) の特徴的経時変化により、安定化待ち時間が決定できる。さらに、安定化待ち期間と安定期間における  $m$  値と核の体積濃度  $V_n$  の経時変化も定量的に示した。ここで、安定期間の核分布は次式で与えられる。

\*3 大  $d_n$  域の測定精度は、測定法の性格上悪くなるため、ここでは  $d_{nmax} = 60 \mu m$  とした。

$$N=5.8 \times 10^{-12} \cdot d_n^{-3.8}, V_n \cong 10^{-12}$$

(2) ここで採用している159m<sup>3</sup>程度の地下貯水槽を持つ放流式試験水槽では、約2時間の定常化待ち時間  $t_{wait}$  の後には核分布が安定し、再現生が良いキャビテーション試験特性を持つことができる。

(3) 安定化待ち期間内でキャビテーション試験を行えば、再現性が低く、かつ、核分布に特に敏感なキャビテーションは大幅にその発生形態を異にする。

終わりに臨み、本研究に対して御指導いただきました東北大学高速力学研究所大場利三郎先生と伊藤幸雄先生に感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) Johnsson, C. A., 12th Int. Towing Tank Conf., Rome, (1969-9), 381.
- 2) 大場・伊藤、機論、45-398, B(昭54), 1428.
- 3) Keller, A. and Zielke, W., 2nd Int. Conf. on Pressure Surges, London, (1976-9), 1.
- 4) Ripken, J. F. and Killen, J. M., IAHR Symp. on Cavi. and Hydraulic Machinery, Sendai, (1962-9), 37.
- 5) Oldenzel, D. M., ほか4名, Proc. 11th Symp. on Hydraulic Machinery, Equipment and Cavi., Amsterdam, (1982-9), 1.
- 6) 奈良坂・ほか2名, 機論、53-491, B(昭62), 1887.
- 7) 池田・ほか2名, ターボ機械、16-2(昭63), 81.
- 8) 大場・ほか4名, 機論、46-408, B(昭55), 1485.
- 9) Gates, E. M. and Bacon, J., J. Ship Res., 22-1(1978), 29.
- 10) 松本・ほか4名, 機論、51-472, B(昭60), 3844.
- 11) Gavrilov, L. R., Sov. phys.-Acoust., 15-1(1969), 22.
- 12) 11'in, V. P., ほか2名, Sov. Phys.-Acoust., 21-4(1976), 410.

#### 執筆者

岩 崎 正 博

Masahiro Iwasaki

昭和52年入社

バルブ等の流体機器の設計に従事

