

うず巻ポンプのキャビテーションについて

田 島 勲*・原 田 彊**

On Cavitation in a Centrifugal Pump Impeller

Isao TAJIMA and Tsuyoshi HARADA

要 旨

うず巻ポンプの回転数がキャビテーションの成長過程におよぼす影響を調べ、トーマの係数と空洞の形状について考察した。

1 緒 言

われわれは、さきにうず巻ポンプについて発達した状態におけるキャビテーション性能におよぼす回転数の影響を調べて報告したが⁽¹⁾、このたびは実験条件を整備して、実験中水温を一定に保つようにし、さらに空気含有量を測定して、これがキャビテーション発生状況におよぼす影響を調べた。また羽根負圧面の空洞を観察することによって、回転数が変わってもトーマの係数が同一であれば、空洞も同一形状になるかどうかを調べたので、その結果を報告する。

2 記 号

Q : ポンプ吐出流量 m^3/min
 n : ポンプ回転数 rpm
 H : ポンプ揚程 m
 ΔH : キャビテーションによる揚程低下量 m
 H_a : 大気圧 m
 H_0 : ポンプ羽根車入口中心高さにおける
 吸込揚程 (ゲージ) m
 g : 重力の加速度 m/s^2
 h_v : 水の飽和蒸気圧 m
 H_{sv} : 有効吸込水頭 =

$$H_a + H_0 + \frac{v_0^2}{2g} - h_v \quad \text{m}$$

v_0 : ポンプ羽根車入口平均流速 m/s
 σ : トーマのキャビテーション係数 $= \frac{H_{sv}}{H}$
 α : 空気含有率 %
 $\Delta\beta$: 流入角と羽根入口角のなす角 deg

3 実験装置およびその方法

3. 1 供試ポンプ

実験に供したポンプの諸元を表1に示す。

表1 羽根車主要諸元

羽根車出口径	232.5 mm
羽根車出口巾	19.5 mm
羽根車入口径	側板側 平均 ボス側 124 mm 108 mm 103 mm
羽根入口巾	31 mm
羽根車目玉径	114.5 mm
羽根出口角	21°30′
羽根入口角	側板側 ボス側 35°02′ 17°56′
羽根入口厚	側板側 ボス側 3.5 mm 5.5 mm
羽根枚数	6 枚
最高効率点の比速度	($\text{m}, \text{m}^3/\text{min}, \text{rpm}$) 294

3. 2 実験装置および方法

実験装置は、前報で用いた内径 130 mm の管路と大小 2 ケのタンクからなる密閉回流式であるが、このたびはヒーターとクーラーで温度調節が

* 助 手 機械工学科

** 教 授 機械工学科

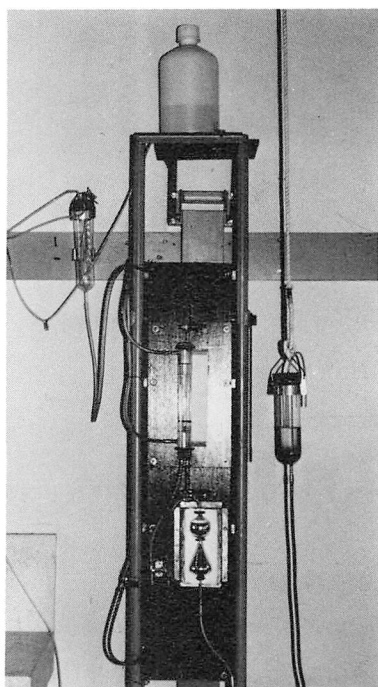


図1 空気含有量測定装置

出来るように、また吸込管路の一部をアクリルパイプとし、羽根入口の観察が出来るように改良した。実験は $n=1100\sim 1500$ rpm の5種類の最高効率点において、また $n=1400$ rpm では最高効率点よりも約17%小から、20%大の流量範囲で行ない、同時に羽根負圧面を観察した。空気含有量の測定は図1に示される装置で行なった。

4 実験結果とその考察

4. 1 キャビテーション特性

図2は最高効率点の吸込性能である。図にはキャビテーションを識別する点として、揚程の低下が始まる点、揚程の1%と3%低下した点、および揚程が垂直に降下を始める点の4点を示し、これらの点については前報⁽¹⁾で述べた通りキャビテーション相以則 $\sigma = \text{一定}$ が成立することを確認した。また図3は、 $n=1400$ rpm の吸込性能である。

4. 2 初生点について

キャビテーション初生点についてトーマの係数

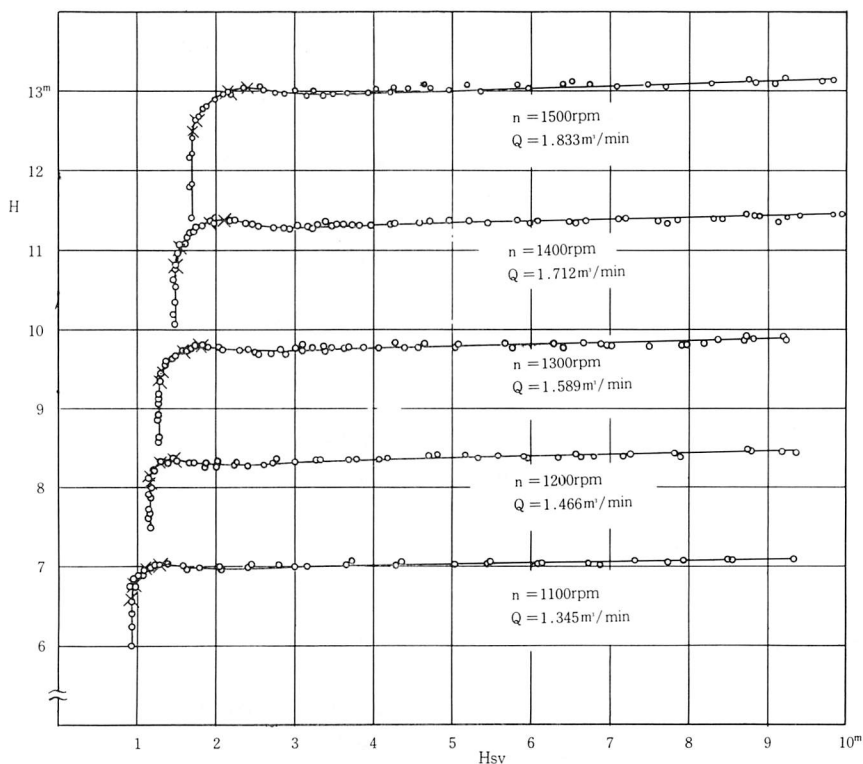
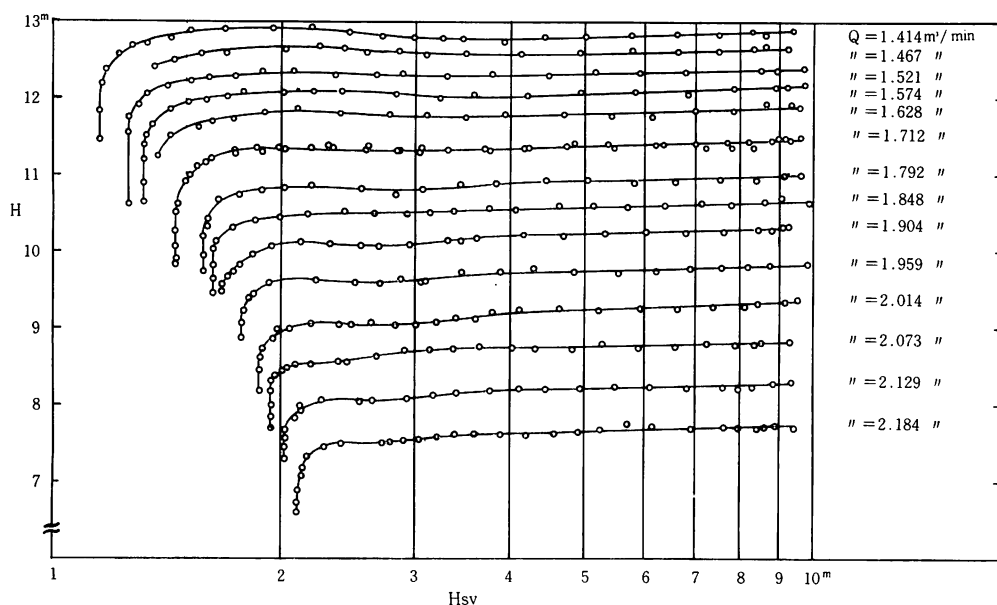


図2 最高効率点における吸込性能

図3 $n=1400\text{rpm}$ における吸込性能

σ が一定になるかどうかを調べるためには、まず初生点そのものをはっきりさせる必要がある。南ら⁽²⁾、堀江ら⁽³⁾はキャビテーションが発生する点を初生点としており、また横山⁽⁴⁾はキャビテーションの消滅点を初生点としている。これについて横山は系の圧力を下げてキャビテーションを発生させる場合には、実験の手順や実験点の数によってまちまちの時間遅れのため発生点は再現性が低く、一方一度圧力を大巾に下げて揚程が垂直に降下するまでキャビテーションを発生させた後に、圧力を上げていく過程で見られる消滅点は再現性が高いこと、そしてこのことはうず巻ポンプの実験によって立証されたと述べている。われわれの最高効率点に関する実験結果を $n-\sigma$ で整理したのが図4であり、また $n=1400\text{rpm}$ の結果を発生点の H_{svi} 、消滅点の H_{svd} および空気含有率 α を流量をもとに整理したのが図5である。

図4には観察された発生点と消滅点の σ_i 、 σ_d が示され、いずれも実験を繰り返した場合、2つの点は回転数によらず中央値に対して約 $\pm 3\%$ の巾を持ち、また図5では H_{svi} と H_{svd} の関係が流量の変化によらず常に $H_{svi} < H_{svd}$ とはならずまちまちであるが、その差は約 0.2m 程であって最高効率点より小流量側で見ると、流量が大きくなるにしたがって、これらの点の吸水水頭は大きくなる傾向を示している。これらのことから

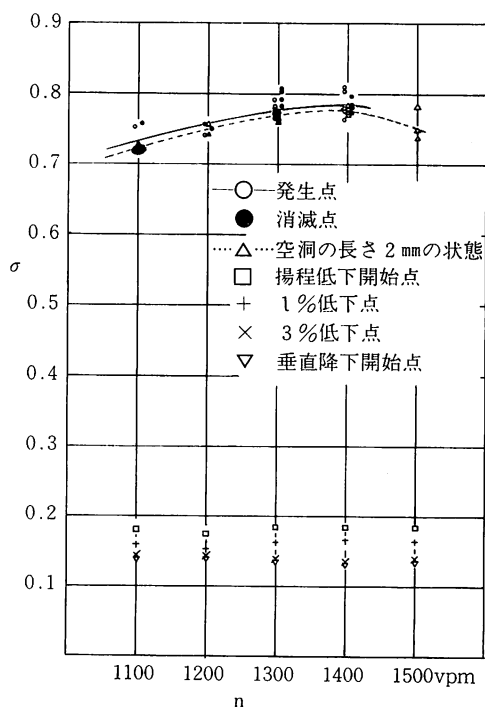


図4 最高効率点におけるトーアの係数

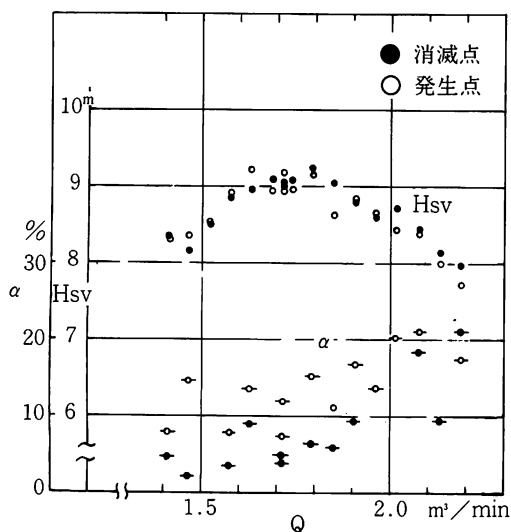


図5 流量を変えた場合の発生点と消滅点における吸込水頭と空気含有率

特に発生点に比べて消滅点の再現性が高いとは言えないことが分る。なおキャビテーションの発生点と消滅直前では、空洞の位置や大きさについては回転数による違いは見られなかった。 $n=1500$ rpmの場合、最大のHsvの状態ですでに空洞の長さは2 mm程度になっていたため、初生点は図3に示されていないが $n=1400$ rpm以下の回転数で空洞が同じ程度に発達した状態の σ を求めて図4に示してある。これによって発生点に最も近い状態の $n-\sigma$ の関係を $n=1500$ rpmまでの範囲で知ることが出来る。したがってこの関係を参考に、初生点の σ の、回転数の変化に対する傾向がよりはっきりするようにキャビテーション初生点として発生点を用いることにした。また図5では、空気含有率が発生より消滅状態の方が小さいことを示しているのに、 $Hsv_i < Hsv_d$ の関係が成り立たず、さらに空気含有率が発生と消滅の状態の違いがあっても、 Hsv_i と Hsv_d はほぼ等しい場合も見られる。これより空気含有率が20%より小さいこのたびの実験では、キャビテーションの発生と消滅におよぼす空気含有率の影響はないものと思われる。一方図4によると、トーマの係数 σ は回転数を変えた場合初生点では $\sigma=一定$ は成り立たず、回転数が大きくなる程 σ は小さくなるというKrisam⁽⁵⁾の実験結果とも違い、横山⁽⁴⁾の結果に近い傾向を示している。空洞の長さ2 mm程度に発達した状態の $n-\sigma$ の関係を参考に、初生点の曲線を $n=1500$ rpmまで延長するとキャビテーション初生点の σ の回転数に対する傾向は、ある

回転数で最大値をとると思われる。

4. 3 最高効率点におけるキャビテーションの成長過程

図6は最高効率点におけるキャビテーションに関する成長過程のスケッチであり $n=1200, 1300$ および1500 rpmについても同じ成長過程が観察された。

図6(1)は発生状態を示している。キャビテーションが発生した後、揚程は徐々に小さい傾きを

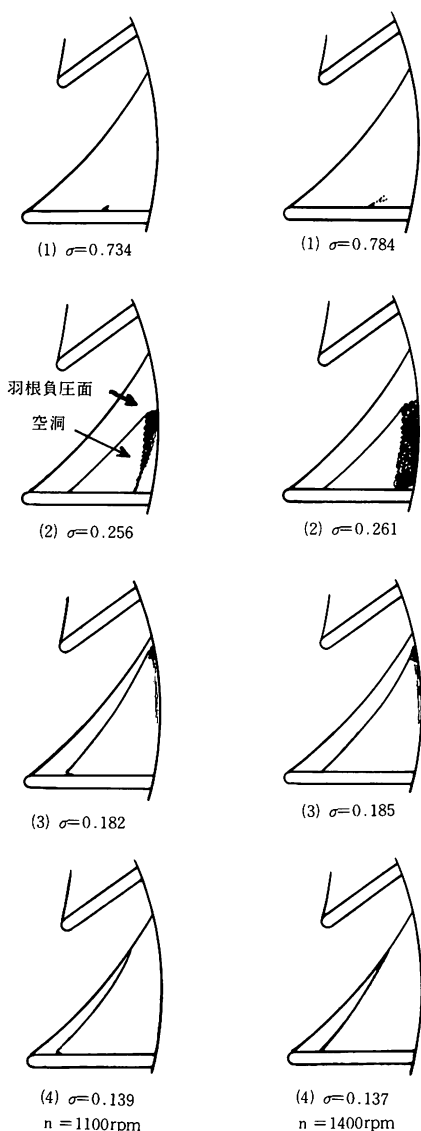


図6 最高効率点におけるキャビテーションの成長過程

持って直線的に低下し ($n=1500$ rpm において約 1%) その後揚程がわずかに上昇する。図 6(2)はこの上昇する少し前の空洞の状態を示し、羽根負圧面に対し垂直の方向に空洞の先端が激しく動くそれまでの過程にない様子が観察されたが小流量で聞かれる激しい音は伴っていないかった。またこの状態の場合、空洞の形、大きさ、およびその位置はほとんど同じであるが回転数が大きい程シュラウド側の気泡のしめる範囲は大きくなり、その動きは激しくなる傾向にあった。さらに空洞が成長すると空洞の動きは止まり、揚程はわずかに上昇する。図 6(3)は揚程が低下を始める点の状態を示し、空洞の形、大きさ、その位置は同じで空洞の先端にわずかに気泡が見え、シュラウド側への盛り上がるように成長するのが観察された。このようにキャビテーションが羽根車内で成長すると、ついに揚程は垂直に降下を始めるが、図 6(4)はこの状態を示している。以上述べて来たように最高効率点においてある程度発達した状態での識別点である揚程が低下し始める点および揚程が垂直に降下を始める点では回転数によらず空洞は同一の形状を示す。即ち揚程が低下し始める点以後の発達した状態ではトーマの係数 σ が同一であれば空洞も同一形状であることははっきりさせることが出来た。

4. 4 流量を変えた場合におけるキャビテーションの成長過程

図 7 は $n=1400$ rpm の大小流量と $\Delta\beta=0$ の流量 ($Q=1.792$ m³/min) についてのキャビテーションに関する成長過程をスケッチしたものである。図 7 (1)(5)(9)は発生点、図 7(4)(8)(12)は揚程が垂直に低下を始める点、図 7(2)(6)は $Q=1.1414$, 1.792 m³/min において揚程がわずかに上昇する少し前の点、図 7(3)(7)はその後に見られる揚程が低下し始める点、図 7(10)は $Q=2.184$ m³/min において揚程低下の割合がそれまでよりわずかに大きくなる点、図 7(11)は揚程が低下し始める点の状態を示している。キャビテーションの発生は小流量ではほぼ点のようであって、小さく揺れて不安定であるが大流量での発生位置はシュラウド側へ寄り突然にある程度大きな空洞で発生するが安定している。図 7(2)の状態では空洞の、先端とシュラウド側は成長する方向にそれぞれ 10 mm 程伸縮を繰返している。またこの状態の少し前から発生していたケーシング内での音は非常に激しくなったがその後空洞が成長すると、このような動きはなくなり、さ

らに音も低くなった。図 7(2)に似た状態は最高効率点より 10%以下の流量で観察されたが、最高効率点や $\Delta\beta=0$ の場合では、前に述べたような音は伴わず大流量では激しい空洞の動きもなく、音についても低く静かであった。これら成長過程の観察から、小流量で揚程が低下し始める前に揚程がわずかに上昇するのは、シュラウド寄りに生じている逆流域の流れに対する影響が、空洞によって妨げられ、損失がわずかに減少するためであろうと

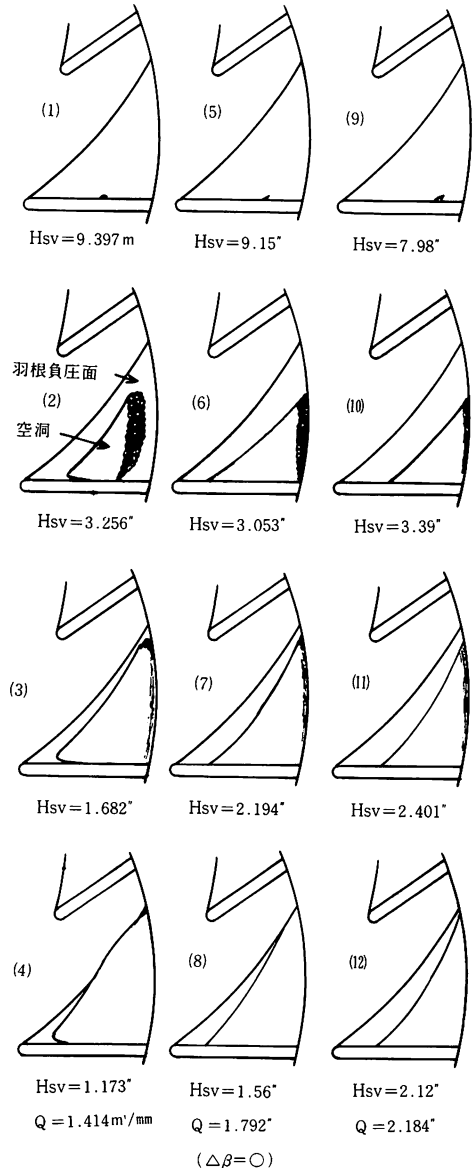


図 7 $n=1400$ rpmにおけるキャビテーションの成長過程

思われる。

5 結 び

うず巻ポンプのキャビテーション成長過程におよぼす回転数の影響を調べ、トーマの係数と空洞の形状について検討したことをまとめると以下のとおりである。

1. 回転数を変えた最高効率点での実験の結果、キャビテーションの初生点において相以則 $\sigma =$ 一定は成り立たず、回転数が大きくなるにしたがって σ は大きくなる傾向がある。
2. しかし揚程が低下し始める点以後の発達した状態ではトーマの係数が同一であれば空洞の形、大きさ、その位置は同一である。
3. 空気含有率が20%以下であれば空気含有量はキャビテーションの発生状況に影響をおよぼさないと考えられる。

文 献

- (1) 原田・田島, 苫小牧高専紀要, No 7 (昭47-3), 17
- (2) 南・ほか2名, 日本機械学会誌, 62-485 (昭34-6), 881
- (3) 堀江・大島, 日本機械学会論文集, 29-201 (昭38-5), 868
- (4) 横山, ターボ機械, 2-4 (昭49-9), 365
- (5) Krisam, F., VDI-Z, 95-11/12 (1953), 320
(昭和55年12月1日)