

# 実船推進器のキャビテーション 性能について— I .

特性の一般的表現と実験装置のキャビテーション係数修正の問題 \*

西野正見・吉沢正大

On Cavitation Characters of the Propeller Blades  
on Ships in Active Service— I .

On General Expressions of the Characteristics  
and a Problem on a Correcting Method of the  
Cavitation Factor of the Testing Trunk \*

By

Masami NISHINO and Masahiro YOSHIZAWA

General theory and experiment on cavitation mechanics and its damage to a ship's screw propeller have been so significantly worked upon that the results have been efficiently applied in making better propellers. On the other hand, engineers know very little about actual data of cavitation characteristics of a propeller in actual operation in managing the whole operation of the ship, though they have theoretical understanding of it to a great extent. As cavitation, however, has a strong influence over the efficiency in maneuvering and annual maintenance of ships, it is daily useful and necessary for engineers to know the actual characteristics of the propeller in operation.

Conditions of the cavitation considered in making a propeller are basic and general and they generally found among a certain group of ships. Engineers, therefore, should have clear understanding of the individual characteristics of a propeller under the conditions of the hull shape of the ships and navigation factors and should make an adjustment according to each condition in order to utilize the basic knowledge of cavitation.

So far as, then, the characteristics are effective and sufficient in actual operation, they may be accepted in an actual management on board, even though their data may show somewhat approximate values.

In this paper, the authors showed an outline on some standard expressions of cavitation characteristics of a screw propeller in an active service from the point of actual management.

And as the first step of a series to get to the characteristics, the authors examined the cavitation coefficient of the experimental apparatus, which consisted of a horizontal circulating trunk with 15 PS pump motor and a blade element of a kind of Troost type. And as the coefficient will thereafter be one of the most important and basic factors in the series, the authors clarified the hydro-dynamic character of the apparatus by studying the specific cavitation coefficient.

---

\* 水産大学校研究業績 第 510 号 1967 年 4 月 27 日 受理  
Contribution from the Shimonoseki University of Fisheries, No. 510  
Received Apr. 27, 1967

## 1 ま え が き

### 1.1 概 要

船舶の推進器のキャビテーションについては、その効果的な抑制に関する理論と実験の両者において、すでに多くのすぐれた成果を収めてきた。すなわちそれらは近年注目されつつあるスーパーキャビテーションの問題を含めて例えば ENGLISH<sup>1)</sup>、花岡<sup>2)</sup>、伊藤<sup>3)</sup>、KNAPP<sup>4)</sup>、LINDGREN<sup>5)</sup>、中島<sup>6)</sup>、沼知<sup>7),8),9)</sup>、TULIN<sup>10)</sup>、VOORDE<sup>11),12)</sup>、矢崎<sup>13)</sup>等の業績に示されている。しかしそれらの業績は原則として純理論ないしプロペラの標準的設計製作に関するものであり、したがって一般に考えられる標準的ないし平均的条件に対応する効果を保証するが、それは必ずしも個々の実船の個々の航走時の特性を示すものではない。

ところで船舶の実務者にとっては、設計上考慮されるごとき標準的な長期の航海に対する平均的保証とは別に、ある具体的な気象海象条件のもとでの現状把握が運航上意味のある場合がしばしばある。それは運航実務の上で直ちに操縦ハンドルに直結するし、また保守上の整備計画についても意味のある影響を与える。したがって運航管理上の効果をあげるために、航海の現実に対応した意味での、自己のプロペラのキャビテーション発生状況を把握することが意味をもつこととなる。すなわち運航管理上注目するキャビテーション特性は、原則としてプロペラ製作時注目された平均的標準条件を十分に越える範囲を含めて、個々の船が自己の航走条件に即して用意されることが望ましいと考える。

この意味において筆者等は個々の実船プロペラの特性を把握する方法に注目し、1つの実験的具体例を通して、その一般的方法についての一連の作業を計画した。もとよりこの作業は純理論または基本設計に関して、それらの方法ないし解析を行なう場合と異なり、実務に即応する視点に立脚するもので、したがってつぎの要件が主体となる。

- (1) 特性の対称とする運航条件は、個々の船がとる可能性のある気象海象条件を広く考慮する。
- (2) 個々の船体の船型との関連、とくにプロペラ周辺の流れの速度と方向とキャビテーションの結びつき、すなわち主として伴流と、プロペラ後流の影響に基づく流線変化に注目する。
- (3) 実験ないし実船実測においては、純理論的精度を考慮するよりは、むしろ実務的効用に注目する。云い換えると、特性把握の方法論は、実務に効用があると考えられる限り、装置の簡便化に注目する。この問題は判定上の困難性を内包するが、本報のねらいの1つとして重視するものである。

さて本報は、まず如上の視点に立つ特性の一般的表現を述べ、ついでそれら一連の作業の出発として、筆者等が用いた実験装置自体の性格を解析することにより、今後の作業の基礎を固めることを意図する。すなわち実験装置としては正規の垂直式回流トランクに較べて簡易式と考えられる平面式回流トランクを選ぶ。ところで密閉回流式実験装置は一般にパイプの壁の影響ないし粘性の影響を受けるから、それ相当のひずみを内包する。

この意味で本装置はモデルに比し特にパイプの径が小さくかつ流速が低い簡易方式をとるから特別の考慮が必要と考える。すなわち主として速力に比し相対的に無視できない程度の影響をもつ粘性によるひずみを係数的に把握修正する必要があると考え、そのような方法を採用。具体的には、キャビテーション係数 $K$ に関してこの装置に個有のひずみを係数的に把握する問題が本報の主題となる。

### 1.2 特性に関与する主要素と特性図の概観

実船推進器のキャビテーション性能を知るためには、まず実船推進器が航走中どのような条件のもとでキャビティを発生するか、ないし発生しているかを知ることが前提となる。すなわち特性に関与する主要素を検討し、それらに基づいて特性図の概観を考察する。

#### 1.2.1 特性に関与する主要素

特性に關与する要素は極めて複雑多岐であるが、その主要なるものはつぎの各項となる。

(1) 翼素：キャビテーションは翼素ごとに独立の条件で起こるから、実用上の考慮から翼を第1図のよう

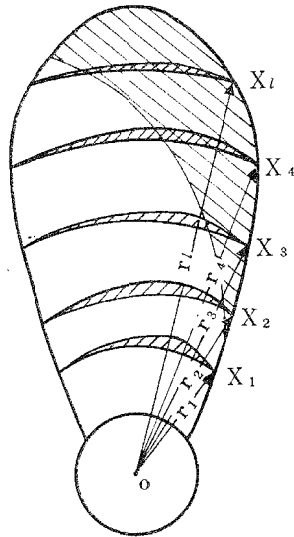


Fig. 1 A sample of selecting method of blade element. Cavitation zone on propeller blade should be correspondingly considered as the shadow area, which will be obtained by several number of blade elements reasonably selected.

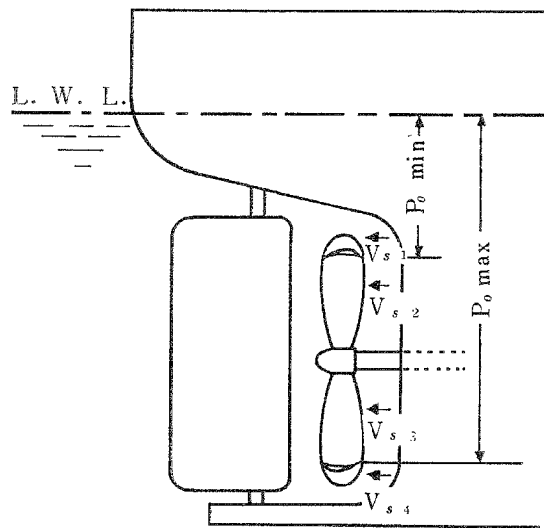


Fig. 2 An illustration of general relationship between propeller blade element and its surrounding conditions. Where, L.W.L: Loaded water line.  $P_0$  : Absolute static pressure at the selected blade element. Each of  $V_{s.1}$   $V_{s.2}$  ...etc. : Advance velocity of each blade relative to its surrounding water, which should be considered as an individual value corresponding to each blade element, owing to the effect of wake and race current.

に翼型  $X_1, X_2, \dots, X_l$  として適当位置の適当個数を代表的に分割選択し, 各翼型につき特性図を作りそれらを系統的に総合することによって, 翼全体の特性を把握し得るものとする。この場合キャビテーション発生区域は, 例えば第1図の影線部分のように, ある種の単純な連続的曲線により区分されるのが一般的傾向であるから, 翼素の採り方は実務上必ずしも多くを要しないと考えられる。

(2) 水温: 船舶の航走海域の可能性としては  $0^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$  程度が考えられるが, キャビテーションの性格として高温帯に注目し, 実用的には  $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$  位に注目すればよいと考える。なお周知のように  $k$  の算定上では, 実船実測の場合はしばしば無視し得るが, 実験トランクの場合は十分に影響する。

(3) 翼素の吃水: 翼素の吃水は軸の回転とともに時々刻々変化し, それに伴って翼素のキャビテーションの大きさも時々刻々変化する。船速, 負荷等が安定した航走条件のもとでは, 第2図に見るように, 翼素の吃水の変化 ( $H_{\min} \sim H_{\max}$  (m)) すなわち翼素が受ける水圧 ( $P_{o \min} \sim P_{o \max}$  ( $\text{kg}/\text{m}^2 \text{abs}$ )) の変化は, キャビテーション性能の時々刻々の変化を知る上で重要な要素である。そして本報の特徴として, この吃水のとり方を一般設計標準の枠を越えて, 個々の船が持つ気象海象の可能性の限界まで拡大する。

(4) 翼素への流入水のベクトル量および入射角: 船速と負荷が安定した航走条件のもとでは, 周知のように両者の瞬時値は第3図のように画ける。この場合実際的な特性にとって最も影響のある問題の1つは, 船速 ( $V_0$  (m/s)) とプロペラへの実際の入射流れ ( $V_s$  (m/s)) との相関性を把握する問題である。周知のよ

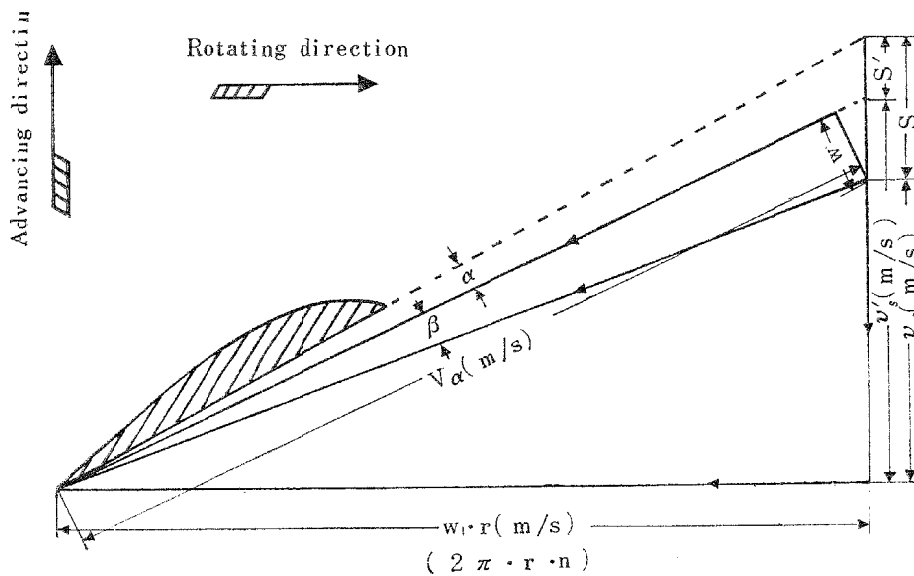


Fig. 3 A sample of a blade element in service which is led by the blade element theory and the circulation theory. Where;  $V_\alpha$ : Relative inflow velocity.  $V_s$ : Relative advancing velocity of propeller.  $V_s'$ : Relative advancing velocity of propeller in case of neglecting  $w$ .  $s$ : Slip of propeller.  $s'$ : Slip of propeller in case of neglecting  $w$ .  $w$ : Induced velocity.  $\alpha$ : Angle of attack.  $\alpha + \beta$ : Angle of attack in case of neglecting  $w$ .  $n$ :  $r \cdot p \cdot s$   $w_1$ : Angular velocity.

うに入射流れは伴流およびプロペラ後流の影響を強く受けるから, それらの実効的把握と船速との相関性を明確にする作業は重要であるだけに, また最も困難な問題と思われる。

1・2・2 特性図の概観

以上(1)~(4)を総合すると、船舶がある海域を航走中、その翼のキャビテーション性能を考えることは、 $X_{t^*}$  の中の特定の1つに注目し、 $t = \text{定値}$ と考えるある海域と時間に注目してそれに該当する  $t_n$  を1つ採り、この条件のもとで、 $P_o \text{ min} \sim P_o \text{ max}$  の間のキャビテーションの変化を把握することになる。ここで第3図に示されるようにL・W・Lで平穩に航走する場合を標準航走条件と呼び、これに該当するキャビテーション特性図を標準特性図と呼ぶと、L・W・Lに対する過負荷(荒天時等を含む)ないし部分負荷の場合を過負荷特性ないし部分負荷特性ということが出来る。またこれらの特性図とは別に、 $V\alpha$  を実験的に注目する場合の特性図、すなわち実験室においてモデル翼素を用いて作成する特性図を実験特性図(内訳として過負荷、標準、部分負荷がある)と呼ぶこととする。

さて特性図の表現には種々の方法が考えられるが、一般的に適用し得るものとしてつぎのものが考えられる。すなわち注目した翼素  $X_l$  およびその設定入射角  $\alpha_m$  について、キャビテーション係数  $K$ 、翼素の吃水に伴う絶対静水圧  $P_o$  ( $\text{kg/m}^2 \text{ abs}$ ) および翼素流入水の水速  $V\alpha$  ( $\text{m/s}$ ) を3軸とする立体座標を考える。そしてこの座標において水温  $t_n$  の1つに注目すると、

$$K_p = \frac{P_o - P_s \cdot n}{\frac{\rho_n}{2} \cdot (V\alpha \cdot q)^2}$$

ただし  $P_s \cdot n$  :  $t_n$  に相当する飽和蒸気圧、 $\rho_n$  :  $t_n$  における流体の密度。

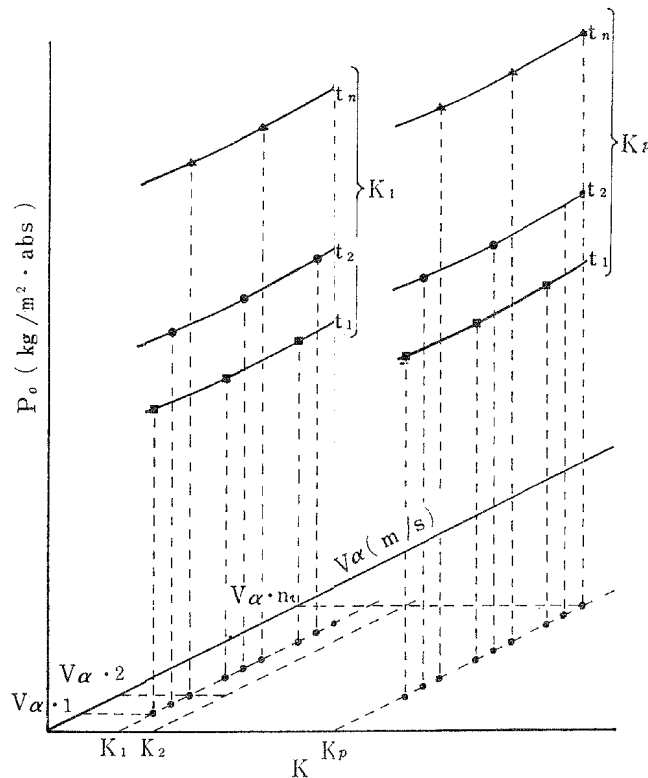


Fig. 4 Typical K- $P_o$ -V figure with  $t$  ( $t_1 \sim t_n$ ) as unit parameter and with  $K$  ( $K_1 \sim K_p$ ) as parameter.

\* サフィックス  $l$  は任意に注目する場合を示す。以下  $m, n, p, q$  等のサフィックスについても同様とする。ただし同一サフィックスはそれぞれ対応するものとする。

において  $P_3 \cdot n$ ,  $\rho_n$  はともに定値をとり,  $K_p$ ,  $P_0$ ,  $V\alpha \cdot q$  の3つが変数となる。ここで  $K$ ,  $V\alpha \cdot q$  のいずれか1つを定数とする場合における  $P_0$  の値を算定ないし実測しつつ, これらの定数をパラメータとして適宜の組合わせを考えると, つぎの各項のようにそれぞれ対応する特性図が作成できる。

(1)  $K_p$  を定数とする場合

すなわちまず  $K_p$  を定数とすると, 単元特性曲線として  $P_0$ ,  $V\alpha \cdot q$  が変数となる場合となり, 第4図が示すように  $K_1 = \text{定数}$  に対して  $(t_1, K_1)$ ;  $(t_2, K_1)$ ; ……;  $(t_n, K_1)$ ; グループが, また  $K_2 = \text{定数}$  に対して  $(t_1, K_2)$ ;  $(t_2, K_2)$ ; ……;  $(t_n, K_2)$  のグループが, 以下同様に  $K_3, k_4, \dots, K_p$  に対応して  $(t_n, K_p)$  までの組合わせおよびグループが考えられる。ここに  $K_p = \text{定数}$  の意味は, 同一  $X_l$ ,  $\alpha_n$  に対して同一基準長 \* のキャビティが発生する場合と考えられる。したがって第4図はキャビテーション性能の解読の上で, 同一基準長に基づく同程度の影響を与える  $P_0$ ,  $V\alpha$  の組合わせを比較検討する場合に役立つと考える。

(2)  $V\alpha \cdot q$  を定数とする場合

また  $V\alpha \cdot q$  を定数とすると,  $P_0$ ,  $K_p$  が変数となる場合となる。ここに  $V\alpha \cdot q = \text{定数}$  の意味は船速および負荷が一定の条件のまま航走中のキャビテーション性能を解読する場合に該当する。すなわち具体的に1つの  $V\alpha \cdot q$  に相当する単元曲線に注目し, かつ翼素の吃水変化に伴う  $P_0$  の変化を知った上でこの曲線上に上限と下限をマークすると, 翼素の1回転に伴うキャビティ発生状況の変化がこのマーク間を反復するものとして把握できる。

(3)  $t_n$  をパラメータとする総合特性図

(1), (2) のいずれの場合においても,  $t_n$  の1つに注目し, その  $t$  値の同一なる曲線を全部含む1つの曲面を考えると, 出来上りの曲面は理論的には同一の曲面が得られる。そして  $t_n = t_1, t_2, \dots, t_n$  としてそれぞれの  $t$  値に相当する曲面を得れば, その図は1つの翼素  $X_l$ , 1つの入射角  $\alpha_n$  について,  $t_n$  をパラメータとする総合特性図となる。言い換えると, この総合特性図が  $X_n, \alpha_n$  についての終局的特性図であり, (1), (2) はそれぞれ  $K_p = \text{定値}$  (パラメータ),  $V\alpha \cdot q = \text{定値}$  (パラメータ) と考える場合, すなわち特定条件の場合に該当する。

(4) 平面式特性図の作成

(1), (2) および (3) は三軸による立体特性図であり, 実用上必ずしも便とはいえない。しかし (1), (2) はそれぞれ  $K_p = \text{定値}$  (パラメータ),  $V\alpha \cdot q = \text{定値}$  (パラメータ) の場合であるから, それぞれ  $V\alpha - P_0$  平面,  $K - P_0$  平面に対して各単元曲線を投影すると, 実務上効果的な平面式が得られる。

## 2 実験装置の問題点

特性図の性格ないし概観を把握したところで, つぎにこれを実験的に確認する作業の段階となる。この作業は原則として具体的にある翼に注目し, その代表的翼素のモデル翼型を作製の上, 実船の運航上の可能性に相当する実験を行なうことになる。言い換えると, 定性的には第4図の例示ないし同類の前条(2), (3)等の型を対称とし, 定量的にはその翼素の実船の条件下(一般標準値を越えて本報が注目する範囲)での上限と下限を想定した上で, それに相当する範囲の実験を行なうことを意味する。

しかし筆者等の用いた実験装置では, この原則的要求に応ずるには, 性能上大きな隔りがあることが当初より予測できたので, 本報における実験の目標をまづ装置自体の性能の確認に限定し, 特にキャビテーション実験の基準的データとなる  $K$  の値のひずみを探知し, その修正値を求めることを主題とすることとした。以下装置の概要, 実験経過および結果, データの解析および考察等につき逐条述べる。

\* 翼素表面にキャビティが発生した状態で密着している長さを基準長と呼ぶこととする。

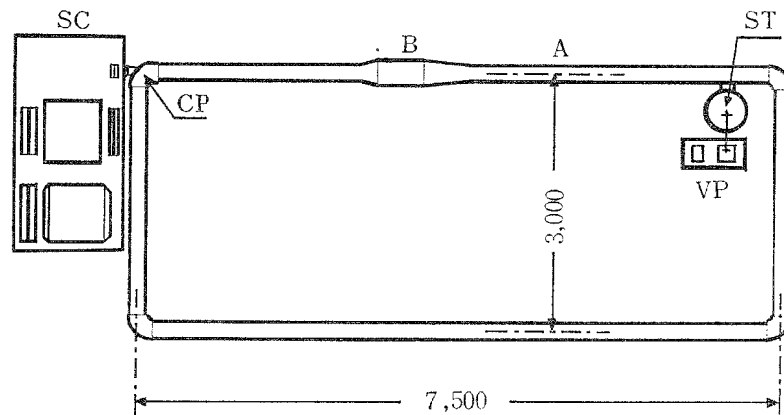


Fig. 5-1 Principals of the circulating trunk. Where; A: Flow velocity measuring part by Pitot tube. B: Cavitation test and observation part for the model blade element. CP: Circulating flow pump. SC: Speed controller for CP. ST: Surge tank. VP: Vacuum pump for ST.

Principals of the circulating trunk

1. An axial flow pump  
Diameter of impeller=150φ. Head in rating condition=4m. 1500 r. p. m. Dia. of suction pipe=5 inch. Dia. of delivery pipe=5 inch. Number of blades=4. Material of blades: Aluminum bronze. Material of shaft: SUS 27. Pump impeller part is visible through an acrylic acid resin pipe.
2. An electric motor (Waterproof and closed type) induction motor. 200 Volt. 11KW. 1740 r. p. m. and 39 Ampere.
3. Pipes (Galvanized gas pipe)  
Diameter=5 inch. Total length about=20m. Elbow=2. Gate-valve=1.
4. A surge tank  
Dia.=400mm. Height=1500mm. 3.2 thick steel made.
5. Guide grids (JIS)  
Two for pump, and one at the leading position of A part.
6. Pitot tube  
One (Outer dia. 9mm) for A part, and one (Outer dia. 4mm) for B part.
7. manometers  
Two with Hg and two with Aq.
8. Cavitation test and observation part (Named B part)  
Length=598mm. Width=240mm. Depth Thickness of the model blade element=17mm. Visible through an acrylic acid plate.
9. Speed controller (BAIERU 15-15PV, made by SUMITOMO-KIKAIKOGYO Co.)  
Now-step control, Power constant, V-belt type, Speed reduction rate:0.2~0.8, Input=11 KW, Output=about 9 KW.
10. Vacuum pump  
Driven by a motor (200 Volt, 0.4KW, 1700 r. p. m.)

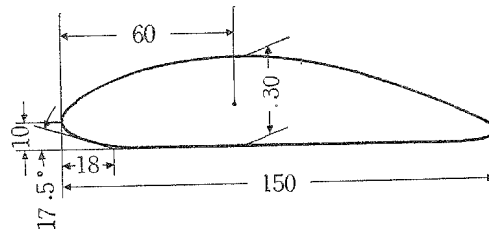


Fig. 5.2 The model blade element for the cavitation test.

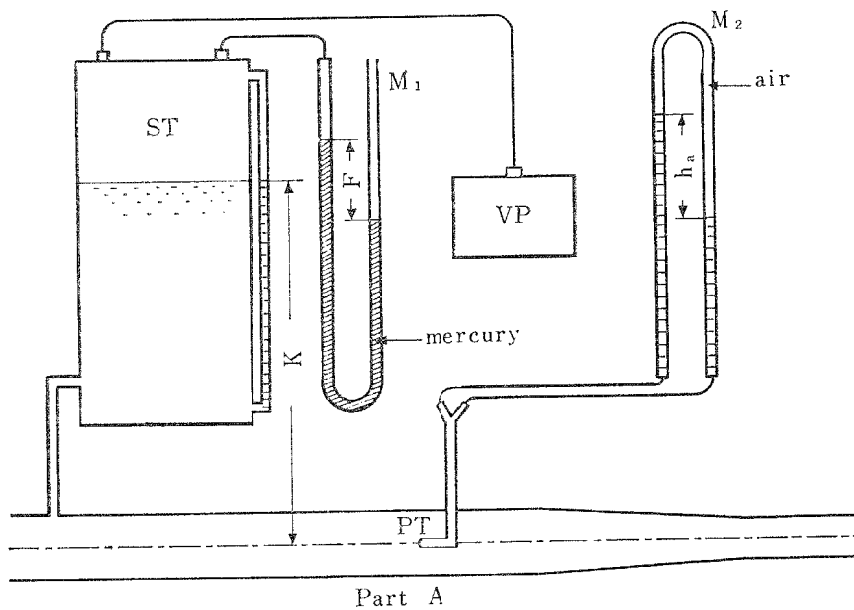


Fig. 6 Measurement of an absolute pressure of the apparatus in case of part A. Where, ST: Surge tank. VP: Vacuum pump.  $M_1$ : Manometer for ST.  $F$ : Vacuum value in Hg. PT: Pitot tube.  $M_2$ : Manometer for P.  $h_A$ : Aq value correspond to the flow velocity. K: Positive head by ST.

## 2.1 実験装置の概要

まず全体装置は第5図(第5.1図, 第5.2図)に示すように平面式密閉型回流水槽であり, その実験主要部は回流水槽の代表的圧力と流速を示すA部と, 翼素の実験および観察を行なうB部とから成る。第6図はA部における圧力と流速の測定に関する一般例を示す。そしてこの装置は実験の主要素の1つである流速が, 回流部および実験部でそれぞれ最高約1.5 (m/s) および5 (m/s) 程度の簡易装置である。

したがって実験装置としては, まずモデル翼素として本装置の流速および真空保持の度合いに相応してキャビテーションを持続し得る翼型ならびに入射角を選定することが基本条件となる。そしてこれに関連するそれぞれ必要な機能を持続することが要求される。すなわちそれらの機能とは第1に真空ポンプおよび関連各部による所要の真空度保持の安定性と, 第2に所要の流速保持の安定性と, そして第3に所要の温度保持の安定性である。これらに関する実験遂行上の問題点はつぎの通りである。



### 2・1・1 真空度の保持

真空ポンプは小容量ながら、この系としての必要な真空度は十分に確保できた。ただしおおよそ 500mm Hg を越える真空度の場合において、外気の漏入に基づく計測値の変動が一部の関連計測部のデータ採取に際して、その安定した許容測定時間を越えると考えられた。したがってその測定方法につき、数回のデータを読んだ後に適値を求める等の対応策を構じたが、この場合でも真空ポンプを小刻みに発停できたので、総合的には測定上の支障はなかったものとする。

### 2・1・2 流速および温度の保持

つぎに流速と温度を、測定に必要な時間、所要値に安定させることができるかどうか、装置の精度を決める上での重要な条件となった。ただしこの装置のように、動力と保有水量の両面において容量の小さい簡易装置の場合、回流損失に伴う温度上昇の範囲を、十分に精度高く保持することは不可能である。したがって試行実験の結果、測定許容誤差を流速で 5%程度、温度で  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  程度と定めた。ただし温度については一般に  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$  程度が実験の基準であるが、簡易方式としての誤差の拡大の可能性を考慮して  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  に抑えた。また流速、温度の計測自体はそれぞれ測定者による U 字管および棒状温度計\* の直視読み方法で確認できる範囲と定めた。流速の保持は、無段階変速装置によって、毎回 2~3 分の変速時間で所要の精度を保持できたと考える。ただし測定の上で特に精度を安定させたいと考えた場合には、その一連の計測にわたって、流速を上昇せしめたコースと、下降せしめたコースの 2 回につき実施し、平均的に可及的に精度の高い値を把握するように努めた。また温度の保持については、全体としてみるかぎり、1 つの流速につき所要温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )  $\pm 0.2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) の連続測定を可能としたが、同時にしばしば  $\pm 0.2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) の設定許容値を越えた。この場合には測定を中断し、加熱ないし冷却の方法を構じて条件を整えた後再施行した。

## 3 実験の経過

実験は装置の制約を確認する試行の結果に基づいて、まづ  $\alpha$  の値を一般的基準値  $-2^{\circ}\sim 10^{\circ}$  から離れた値ながら  $20^{\circ}$  に設定した。水温は実船の条件を考慮して  $18(^{\circ}\text{C})$ ,  $22(^{\circ}\text{C})$ ,  $26(^{\circ}\text{C})$  および  $30(^{\circ}\text{C})$  の 4 種とし、さらに各温度において、流速を減速機のノッチマークで  $0.45\sim 0.77^{**}$  にわたる特定の 8 点を選定した。キャビティの大きさについては、表面張力の影響と安定度の両面を勘案して基準長 30mm のものを採った。ただしキャビテーション実験の性格としてキャビティの長さを正確に 30mm に維持することは不可能であるが、可及的に近い状態を求める操作をもって実験の目的は満たされたとみなした。

### 3・1 実験に基づく $P_0-V_B$ 曲線の求め方

B 部における  $P_0$  ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{abs}$ ) と  $V_B$  ( $\text{m}/\text{s}$ ) との相関関係を把握するためには、この装置のもつ第 4 図に見られるような制約に基づいて、つぎの各項の手順を仲介とする必要があった。

- (1) F ( $\text{mmHg}$ ) と K ( $\text{mmAq}$ ) との差を G ( $\text{mmAq}$ ) とし、 $h_A$  ( $\text{mmAq}$ ) から求めた流速を  $V_A$  ( $\text{m}/\text{s}$ ) とし、 $G-V_A$  曲線を求めた。
- (2) B 部に翼素の代りにピトー管を設置し、A, B 両部のピトー管の読みによって  $V_A-V_B$  曲線を作成した。
- (3)  $V_B$  の変化に対応する B 部の静圧力変化  $q'_B$  ( $\text{mmHg}$ ) を求め、これを  $q_B$  ( $\text{mmAq}$ ) に換算して  $q_B-V_B$  曲線を求めた。

\* 温度計自体の補正は、 $18^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$  の範囲で標準温度計に対し、 $-0.06\sim +0.07^{\circ}\text{C}$  であったから、本実験の場合補正を要しないものとして扱った。

\*\* 装置として最低値はマーク 0.2 があるが、本実験では低速域は不要である。また最高速はマーク 1.00 があり、モーターの制約に基づいて 0.8 が指定されているが、実測によって 0.77 が限度である。

Table. 1  $P_o$ - $V_B$  data sheet.  $P_o$  (Experimental) and  $V_B$  values were led by the series of experiments and calculations explained in (1) - (5) of 3.1, which were correspond to  $\bullet$  values in Fig. 7-10. And the C value was obtained from  $\bullet$  values, owing to the method of least squares.  $P_o$  (Calculated) values were obtained by calculations, considering K value as K' without C.

$V_B$ (m/s)	18°C		22°C		26°C		30°C	
	$P_o$ (mm Aq abs) (Calculated)	$P_o$ (mm Aq abs) (Experimental)	$P_o$ (mm Aq abs) (Calculated)	$P_o$ (mm Aq abs) (Experimental)	$P_o$ (mm Aq abs) (Calculated)	$P_o$ (mm Aq abs) (Experimental)	$P_o$ (mm Aq abs) (Calculated)	$P_o$ (mm Aq abs) (Experimental)
3.42	2193	2000	2253	2020	2326	2070	2416	2250
3.60	2413	2200	2473	2230	2546	2280	2636	2460
3.79	2645	2407	2705	2447	2778	2497	2868	2667
3.97	2889	2620	2949	2670	3022	2730	3112	2890
4.16	3146	2845	3206	2895	3279	2975	3369	3125
4.35	3419	3090	3479	3160	3552	3220	3642	3370
4.53	3703	3360	3763	3430	3836	3490	3926	3630
4.72	3998	3645	4058	3715	4131	3785	4221	3915
4.91	4310	3915	4370	3965	4443	4045	4533	4175
5.11	4649	4285	4709	4335	4782	4415	4872	4555
5.31	4998	4635	5058	4665	5131	4745	5221	4895
5.51	5362	4960	5422	5010	5495	5100	5585	5260
5.71	5753	5365	5813	5375	5886	5485	5976	5635
5.91	6142	5750	6202	5780	6275	5880	6365	6060
6.11	6546	6105	6606	6205	6679	6325	6769	6495

(4)  $H_B$  (mmAq) =  $G$  (mmAq) +  $q_B$  (mmAq) であるから  $q_B - V_A$  曲線と  $V_A - V_B$  曲線とから  $H_B - V_B$  曲線が求められた。

(5)  $P_o$  (mmAq) =  $10330$  (mmAq) -  $H_B$  (mmAq) であり、この  $P_o$  の値は本実験の場合そのまま  $P_o$  (kg/m<sup>2</sup>abs) と置き換えられるから、ここに  $P_o$  (kg/m<sup>2</sup>abs) -  $V_B$  (m/s) 曲線が求められた。

以上 (1)~(5) の手順に従い第 1 表の  $P_o$  (実験値) と  $V_B$  を得たので、それぞれ水温 18(°C), 22(°C),

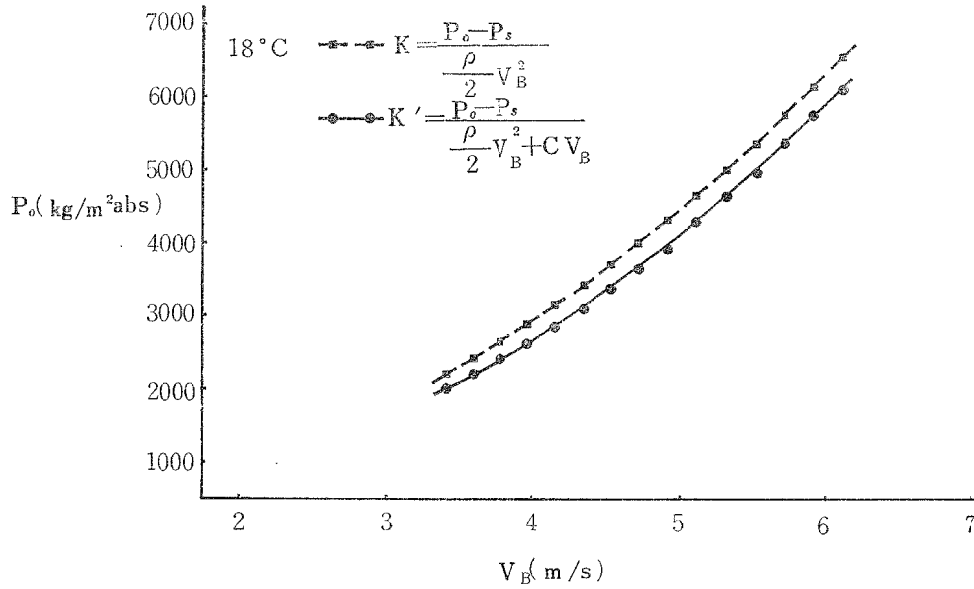


Fig. 7  $P_o - V_B$  curve in case of 18°C. The ● values were led by the data obtained in the test, and there by  $K$  value of the apparatus should have been  $K'$  with  $C$  shown in the sheet. And the ■ values were led by calculation, where  $K$  value took none of  $C$ .

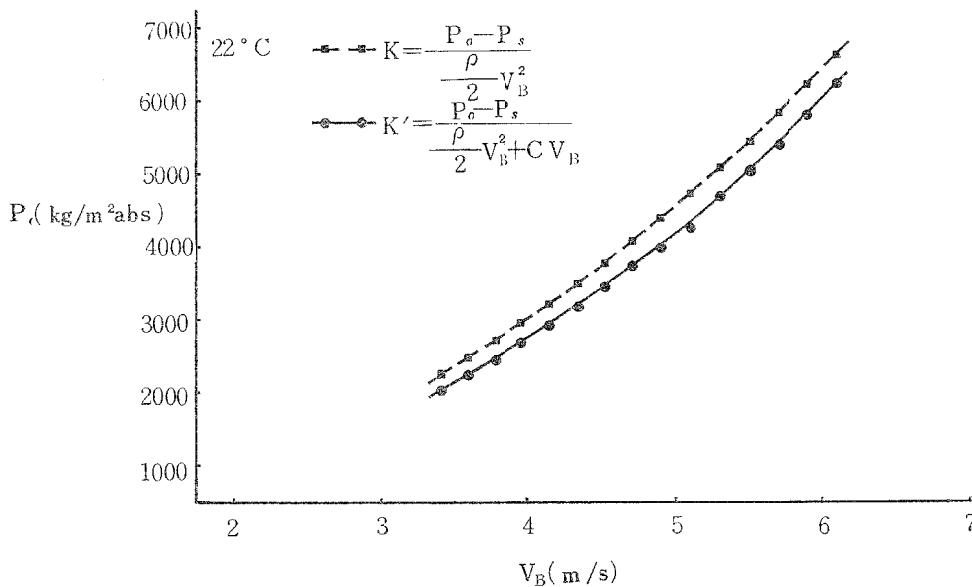


Fig. 8  $P_o - V_B$  curve in case of 22°C. The explain is as that of Fig. 7.

26(°C) および 30(°C) に対応する  $P_o-V_B$  曲線を描き, それらをそれぞれ第7, 8, 9 および10図の実線部に示す。

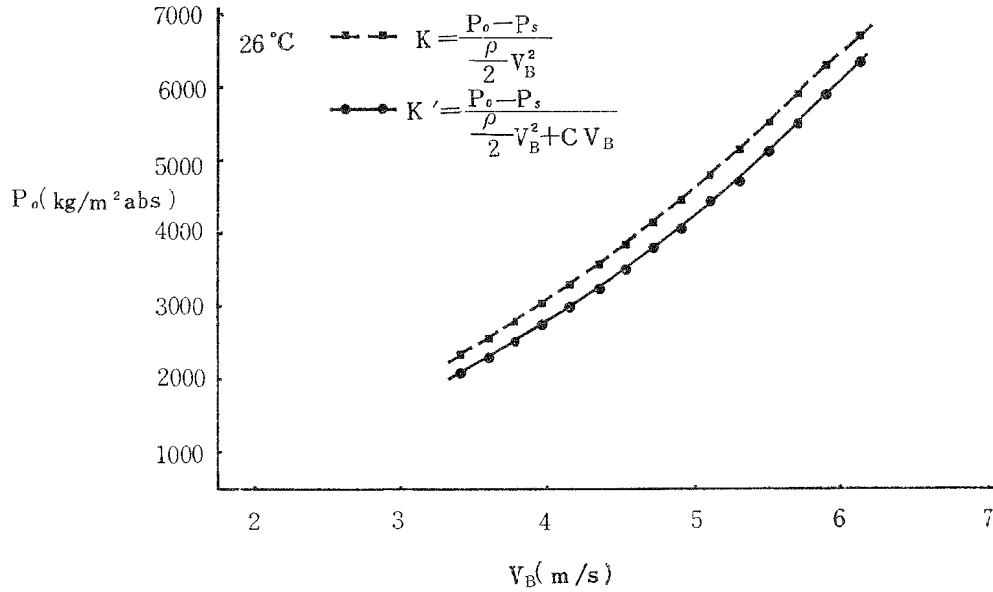


Fig. 9  $P_o-V_B$  curve in case of 26°C. The explain is as that of Fig. 9.

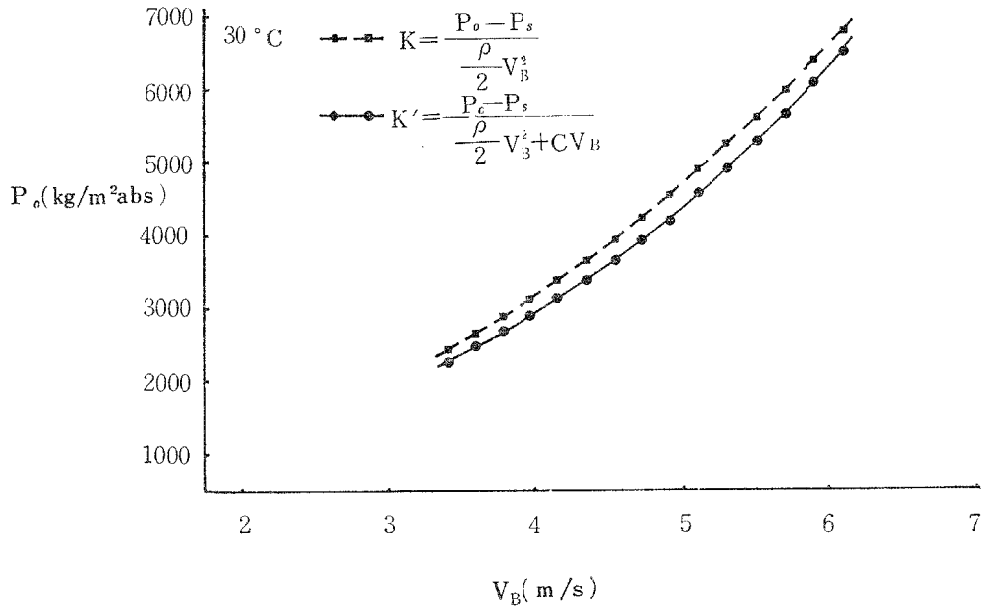


Fig. 10  $P_o-V_B$  curve in case of 30°C. The explain is as that of Fig. 10.

### 3・2 $P_o-V_B$ 曲線の修正

第7～10図において、各曲線（実線）に対応するキャビテーション係数 $K$ の値は、1・1にて既述の理由により装置に基づくひずみの修正を必要とすると考える。すなわち $K$ の修正値 $K'$ を

$$K' = \frac{P_o - P_s}{\frac{\rho}{2} V_B^2 + C V_B} \quad \text{とおき、第1表の前記データに関して、最小自乗法によって } C \text{ を求め、 } C = 1.08$$

( $\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ )を得た。またこの場合 $K'=3.33$ となるので、この $K'$ 値を $K$ 値とし $C$ を含まない $P_o-V_B$ 値を計算により求めて曲線を描くと、第7、8、9および10図の場合それぞれ点線の曲線となる。

## 4 結 論

本報の作業は、実船の推進器のキャビテーション特性把握のための全般的展望、すなわち特性図の表現の問題を概説するとともに、今後一連の作業の重要な基礎条件の1つとなる $K$ 値について、装置自体のもつひずみを明確にすることをねらった。この意味において実験の経過をかえりみてつぎの結論が出される。

### 4・1 特性図表現の問題

(1) 全般的特性図の表現としては、注目する船と航路が定まると、プロペラを取りまく流れの条件につき実務的に可能性のある広い範囲を含めて、注目する1つの翼素ごとに、かつ海水温度 $t(^{\circ}\text{C})$ および入射流れ角 $\alpha$ を一定とする条件ごとに、キャビテーション係数 $K$ 、翼素の位置の絶対静水圧 $P_o$ および相対流速 $V$ の3要素に関する立体的特性曲線が考えられる。ただし実務上は $K$ 、 $V$ いづれか1つをパラメータとする平面的特性曲線表群に表現する方法が実際的と考えられる。

(2) 実際の翼素は1回転ごとに $\alpha$ についても大きな変動を伴っているから、その船の $\alpha$ の変動の可能性につき、代表的翼素ごとに系統的に整理する必要がある。

(3) (1)、(2)の組み合わせからはじめてキャビテーション発生状況に対する総合的な事実把握が可能であるが、翼素ごとに特性を把握する基本方式に立脚する本報としては、実務的に作業量を圧縮するためには、注目する翼素の数を可及的に少なくするために、効果的な選択をすることが大きな意味をもつ。

### 4・2 装置におけるキャビテーション係数の問題

$K$ の修正値 $K'$ を求める作業としてはつぎのことが考えられる。すなわち本報の簡易方式においては一般にキャビテーション発生に伴うデータ採取上の安定性が問題となり、したがってデータのばらつきに対する整理と信頼性が問題となる。しかし実験の結果とその整理過程を観るに、この程度の簡易方式においても注目する $P_o$ 、 $K$ 、 $V_B$ に対してキャビテーションの発生状況が安定している限り、実験は成立すると考えられる。ただし簡易方式に基づく装置自体がもつ基本的ひずみの修正を施すことが必要であり、本報の場合

$$K' = \frac{P_o - P_s}{\frac{\rho}{2} V_B^2 + C V_B} \quad \text{として最小自乗法により } C = 18.0 \text{ ( } \text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^3 \text{ ) を得たが、この値は適当のものと思$$

われる。すなわち今後の実験においてこの $K'$ を用いることにより、効果的な実験が可能と考える。

おわりに、本報作成の上で、多くの貴重な助言と指導を賜った本大学校の手島逸郎教授に深謝の意を表します。

## 要 約

船舶の推進器のキャビテーションについては、理論と実験の両面からすでに多くの優れた業績が示され、かつそれらの業績がプロペラ作製の上に大きな影響を与えて来た。このように理論的に周知であるにもかかわらず、船舶の実務者が自己の使用するプロペラについて、ある具体的航走条件のもとでどのようなキャビテーション状態にあるかを把握している例は極めて少ないと考えられる。すなわち多くの実務者は、プロペラ製作者が一般的な航走条件の想定のもとに設計製作した平均的保証を知るのみで、運転と保守に直結する性格の強いキャビテーションの問題を実務に即して把握する方法をとっていないのが実状である。

この場合実船のキャビテーション性能を把握することの一般的困難性と、その実務的必要性を比較するとき、一応の論議が予想される。しかし筆者等は実船の特性把握が望ましいとの観点に立って、注目する実船のプロペラについて、一般的に標準方式と考えられるキャビテーション水槽に比し簡易式と考えられる平面式回流水槽での実務的特性の把握を立案した。そして効果的な特性把握に至るまでの一連の作業には幾多の段階が予想されるが、本報ではその出発にあたり、まず全般的展望ないし作業目標としての特性図の表現方法を概説し、さらに実験装置のもつ基本的ひずみを認識するために、キャビテーション係数 $k$ の修正方式を解析する作業を進めた。そして簡易装置特有の迂回方式による実験を止むを得ないものとしたが、キャビテーションは一般的に信頼し得る程度の安定性を示し、したがってデータの採取および解析の結果も一応満足し得るものを得たと考えられ、所期の目的を果し得たと考える。

## 参 考 文 献

- 1) ENGLISH, J., 1965: An Approach of the Design of Fully Cavitating Propellers. *Symposium on Cavitation in Fluid Machinery*, 46~49.
- 2) 花岡達郎, 1964: 非常キャビテーション流場の線型理論. 造船協会論文集, 64(115), 42~48
- 3) 伊藤達郎, 1962: 船用プロペラ非常キャビテーションに関する研究. 造船協会論文集, 62(111), 137~145.
- 4) KNAPP, R., 1952: Cavitation Mechanics and its Relation to the Design of Hydraulics Equipment. *Engineering*, 173, 533~536, 566~569, 597~600.
- 5) LINDGREN, H., 1961: Cavitation Tunnel Tests with Merchant Ship Propellers. *The Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland*, 61(1264), 1~45.
- 6) 中島康吉, 1952: 推進器空洞現象の新しい判定法. 造船協会論文集, 57(92), 65~73.
- 7) 沼知福三郎, 1940: 翼型4個のキャビテーション性能. 日本機械学会論文集, 28(1), 1.
- 8) 沼知福三郎・角田賢次・千田一郎, 1952: 製作しやすい翼型のキャビテーション性能(第1報) 東北大学高速力学研究所報告, 9(58), 75.
- 9) 一・一・一, 1952: ——(第3報)——, 6(58), 117.
- 10) TULIN, M., 1965: Supercavitating Propellers—Momentum Theory. *Journal of Ship Research*, Dec. 65, 153~169.
- 11) VOORDE, C.B., 1961: A Full Scale-Model Correlation-Investigation on Propeller Cavitation. *Int. Shipbuilding Progress*, 8(82), 255~266.
- 12) VOORDE, C.B. and J. ESVELDT, 1962: Tunnel Test on Supercavitating Propellers. *Int. Shipbuilding Progress*, 9(99), 449~463.
- 13) 矢崎敦生, 1961: AU型プロペラ設計法に関する研究. 運輸技術研究所報, 11(7) 1~13.