

2次元物体および円板に発生するキャビテーションとその諸特性

黒部 雄三*

Cavitation Characteristics of Two-dimensional Bodies and Disks

By
YUZO KUROBE

Abstract

A lot of theoretical models has been proposed to calculate flow field around cavitating bodies. However, calculation results by linearized cavity flow theory do not agree well with experimental results.

Almost of all cavitations around bodies are not stable even if in the uniform flow. According to this fact, it is too difficult to choose a suitable theoretical model.

To make a contribution to this problem, the author discussed the characteristics of cavitation around various kinds of bodies in a uniform flow.

Roughly speaking, the transition of the cavitation can be classified into some stages.

In the case of wedged shaped bodies, the transition can be classified into the stages as follows; Stage i) Occurrence of bubbles, Stage ii) Unstable cavitation, Stage iii) Stable super cavitation.

In the case of streamlined bodies, the stages are as follows;

Stage i) Sheet cavitation, Stage ii) Developing sheet cavitation (unstable), Stage iii) Stable super cavitation.

The relationships between the length of cavitation and the cavitation condition on various hydrofoil sections are also presented in this report.

1. ま え が き

キャビテーションを発生した物体まわりの流れを解析する為、各種のキャビティ・モデルが用いられている¹⁾(Table 1)。いずれのモデルの場合も後端をのぞいてキャビティの境界は静圧(キャビティ内圧)一定の流線(自由流線)で表わされている。しかし観察される実際のキャビテーションは時間的に容積変動し、後端ではちぎれて崩壊している。そしてキャビティ・モデルを用いて計算された結果は十分に実験結果と一致しているとは言い難い。キャビティ・モデルをさらに実際の現象に近づける為、種々の流体力学的条件下におけるキャビテーション現象の特性を詳細に調べる事が必要である。

この報告では、キャビテーションが成長するに従っての各成長段階での特徴を中心に調べた。そして物体によるキャビテーションの成長過程の違い、および共通する部分を明らかにする為、キャビテーション発生物体として2次元楔形と正弦波形状物体および円板を選び、実験を行った。また、翼形に関しては文献により調べた。

〔記号〕

P_0 : 一様流中の静圧

V_0 : 一様流の速度

e : 蒸気圧

l_0 : キャビテーション長さ

P : 圧力

D : 抗力



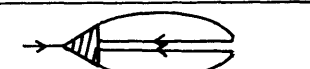
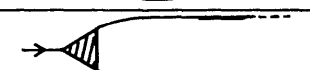
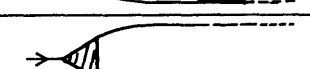
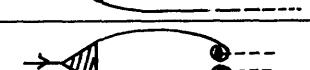
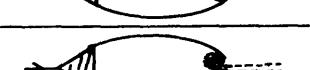
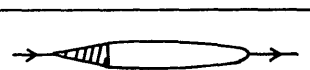
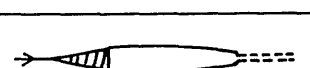
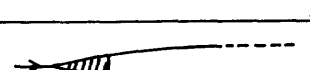
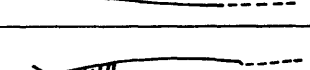
ρ : 水の密度

P_a : 大気圧

* 推進性能部

原稿受付: 昭和54年7月2日

Table 1 Theoretical cavity models

Non - Linear theory	without wake	Riabouchinsky model	
		modify of Riabouchinsky model	
		re-entrance jet model	
	with wake	Rosko - Eppler model	
		Wu model	
		single spiral vortex model	
		double spiral vortex model	
	Linear theory	Linearization of non-linear model	
		closed model	
		semi-closed model	
		open model	
		modify of semi-closed model	

$4D$: 軸抗力

C : 翼弦長

α : 迎角

d : 円板直径

A_0 : 円板面積

l_w : キャビティ最大幅位置と円板との距離

t/C : 翼厚比

S : キャビティ後端幅

$C_D = (P - P_0) / \frac{1}{2} \rho V_0^2$: 圧力係数

$sv = (P_0 - e) / \frac{1}{2} \rho V_0^2$: キャビテーション係数

$C_D = D / \frac{1}{2} \rho V_0^2 A_0$: 抗力係数

2. 2次元物体のキャビテーション

2.1 概要

鈍な形状を持った物体と流線形状の物体に発生するキャビテーションの成長過程の特徴をそれぞれ観察し、次に各成長段階におけるキャビティ内圧を測定して、外からみたキャビテーションの状態との関係をつかみ、さらに成長したキャビテーションの長さの変動を調べた。

2.2 実験装置

本実験は東京大学高速力学研究室の高速キャビテーション水槽3次元翼用試験部で行った。試験部をPhoto. 1に、その流路断面形状をFig. 1に示す。制御可能な流速範囲は3~10 m/s、静圧範囲は0.1~3.5

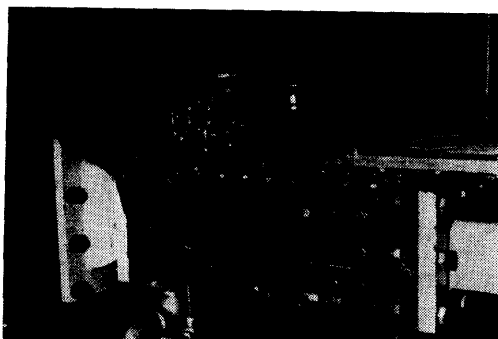


Photo. 1 Cavitation tunnel for experiments of two-dimensional bodies

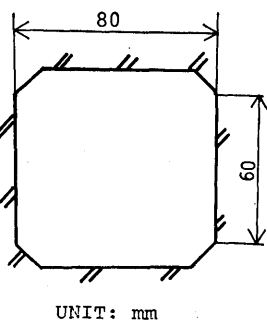


Fig. 1 Section of the tunnel for experiments of two-dimensional bodies

kg/cm² (abs.) である。実験で使用する水は減圧タンクに一定時間入れて含有空気を抜いており、本実験時の空気含有率（飽和状態時の含有空気の体積を1として）は約0.6であった。

使用した物体の断面は楔形および正弦波形であり、その形状を Fig. 2 (1), (2) および Photo. 2 (1), (2) に示す。前者は黄銅製で、水槽試験部底面のアクリル窓に取付けられ、後者はアクリル製であり、窓と一体となっている。製作精度は ±0.1 mm である。圧力は物体表面上に直径 1 mm の孔をあけ、ビニール管で圧力変換器（容量 10 kg/cm²）に導いて検出した。

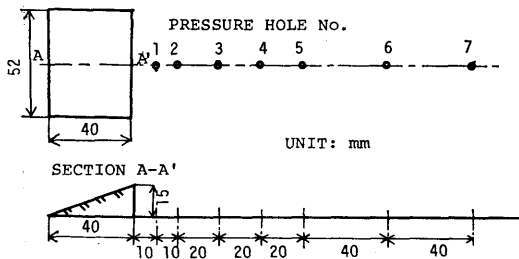


Fig. 2 (1) Wedged shaped body

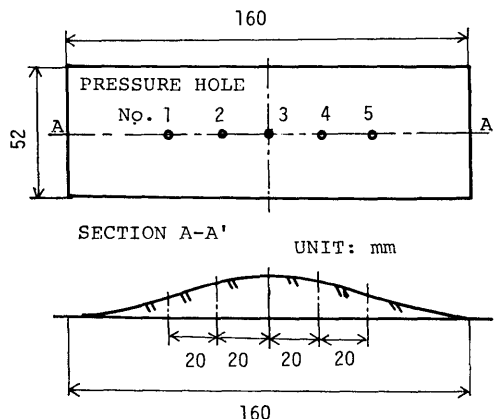


Fig. 2 (2) Sinusoidal shaped body

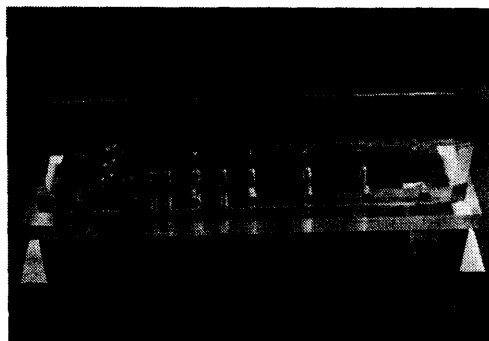


Photo. 2 (1) Wedged shaped body



Photo. 2 (2) Sinusoidal shaped body

2.3 実験および実験結果

(1) キャビテーションの成長過程

流速は 8 m/s にたもち、静圧をさげキャビテーションの各状態を側面および底面から観測、撮影した。ただし、側面および底面の写真は同時に撮影されたものではない。

キャビテーションの成長過程を大きく分類すると次

の様な段階に分けられる。

楔形物体の場合——

(i) 気泡の発生 $\sigma v = 1.8 \sim 1.6$ (Photo. 3)

楔のエッジより伴流の境界面にそい気泡の集団
ができ、ついで伴流中にも小さな気泡があらわ
れる。

(ii) 気泡集団の形成 $\sigma v = 1.6 \sim 1.2$ (Photo. 4)

気泡が伴流全体に拡がり、密集し、伴流後部で
気泡の集団が不規則に崩壊している。

(iii) キャビティ領域の形成 $\sigma v = 1.2 \sim 1.1$

(Photo. 5 (1), (2))

半透明の比較的安定した領域が物体直後に生ず
る。しかし後部は白濁し、激しく振動している。

(iv) キャビティ領域の発達 $\sigma v = 1.1 \sim 0.95$

(Photo. 6 (1), (2))

物体背後の比較的安定した領域が拡がり、後端
の振動もゆるやかになる。

(v) スーパーキャビテーションの形成

$\sigma v = 0.95 \sim$ (Photo. 7)

キャビティ全体が半透明領域になり、安定す
る。



Photo. 3 Wedged shaped body, Stage (i), $\sigma v = 1.74$

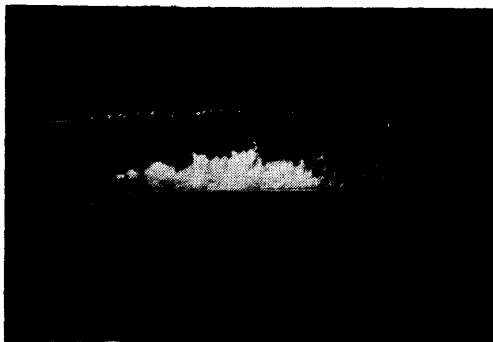


Photo. 4 Stage (ii), $\sigma v = 1.35$

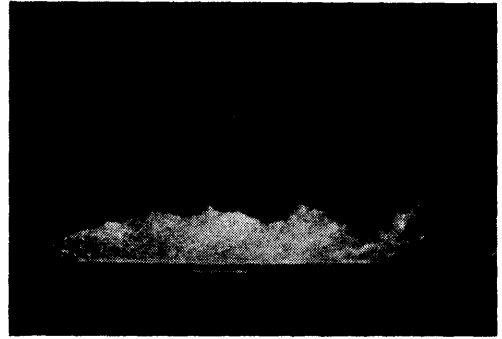


Photo. 5 (1) Stage (iii), $\sigma v = 1.16$



Photo. 5 (2) Stage (iii), $\sigma v = 1.17$

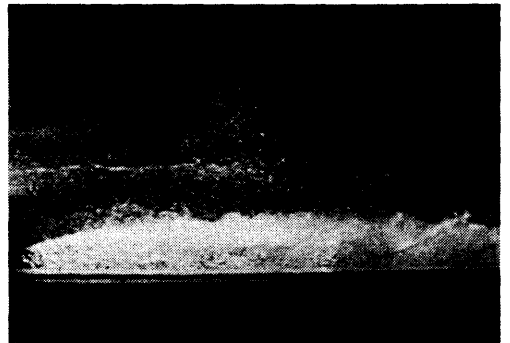


Photo. 6 (1) Stage (iv), $\sigma v = 0.99$



Photo. 6 (2) Stage (iv), $\sigma v = 1.00$

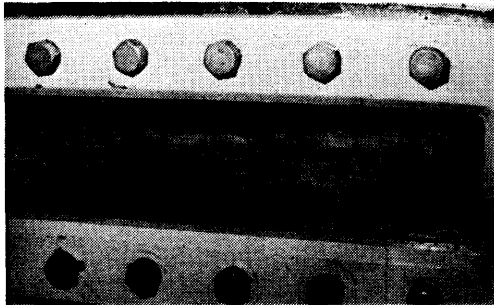


Photo. 7 Stage (v), $\sigma_v=0.95$

正弦波形状物体の場合——

- (i) シートキャビテーションの発生

$\sigma_v=1.4\sim 1.2$ (Photo. 8)

正弦波形の頂点付近より小さな気泡列がシート状に発生する。

- (ii) シートキャビテーションの発達

$\sigma_v=1.2\sim 1.0$ (Photo. 9 (1), (2))

シートキャビテーションの長さ、厚さが増加し、後部がクラウド状になる。

- (iii) キャビティ領域の形成 $\sigma_v=1.0\sim 0.9$

(Photo. 10 (1), (2))

キャビティ前部に半透明な領域が時々生じ、後部が激しく振動する。

- (iv) キャビティ領域の発達 $\sigma_v=0.9\sim$

(Photo. 11 (1), (2))

キャビティ前部が比較的安定し、キャビティ全体が振動する様な激しい振動はみられない。

楔形の場合と比較して、正弦波形の場合は、成長段階の初期では安定したキャビテーションが発生する。しかし、キャビテーションが発達すると楔形と類似の状態がみられた。

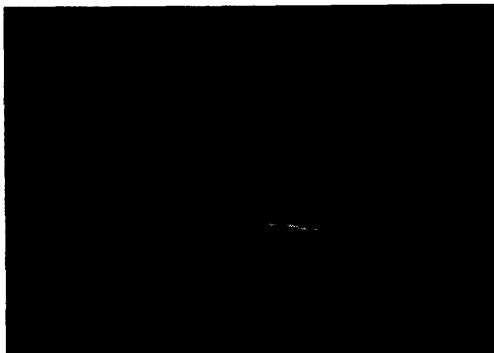


Photo. 8 Sinusoidal shaped body, Stage (i), $\sigma_v=1.33$



Photo. 9 (1) Stage (ii), $\sigma_v=1.08$



Photo. 9 (2) Stage (ii), $\sigma_v=1.08$

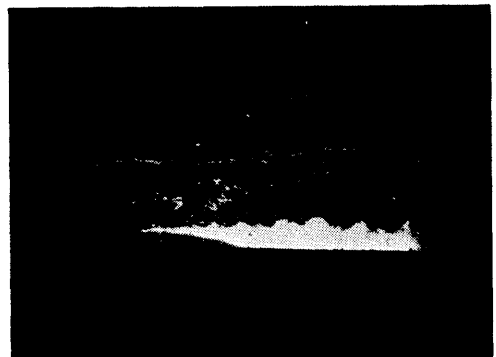


Photo. 10 (1) Stage (iii), $\sigma_v=0.93$

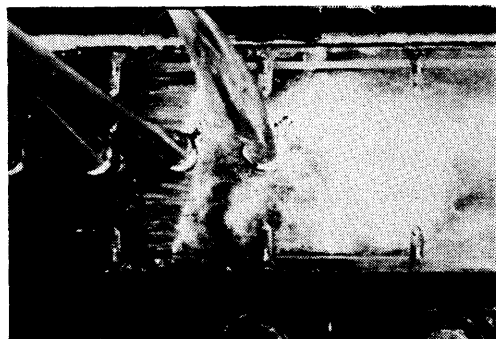


Photo. 10 (2) Stage (iii), $\sigma_v=0.93$



Photo. 11 (1) Stage (iv), $\sigma_v=0.88$



Photo. 11 (2) Stage (iv), $\sigma_v=0.84$

(2) キャビティ内の圧力計測

各成長段階におけるキャビティ内圧を測定した。

楔形物体の場合——

キャビテーションの発生していない状態および (1) の段階 (i) (ii) (iv) の各状態における物体背後の圧力分布を Fig. 3 に示す。圧力一定の伴流領域は楔垂直辺長さの 5 倍程度に拡がり、圧力係数 C_p の絶対値はキャビテーションの発生していない状態より段階 (i) (ii) では 10% 程度小になる。(iv) の状態でキャビティ内圧は Photo. 6 (2) に見られる半透明な安定領域、クラウド状の不安定領域とも飽和蒸気圧付近である。すなわち、流れの圧力場からすると段階 (iv) で始めて物体背後に定常的なキャビティが生じたとみなせる。

正弦波物体の場合——

キャビテーションの発生していない状態および段階 (i) (ii) (iii) (iv) の各状態における物体表面の圧力を計測した。その結果を Fig. 4, Fig. 5 に示す。キャビテーションの発生していない場合の圧力分布は、側壁影響を考慮した Hess & Smith 法による計算値とほぼ一致する。最大物体断面積/計測部断面積は 0.15 である。Fig. 5 からキャビテーションが発生した場

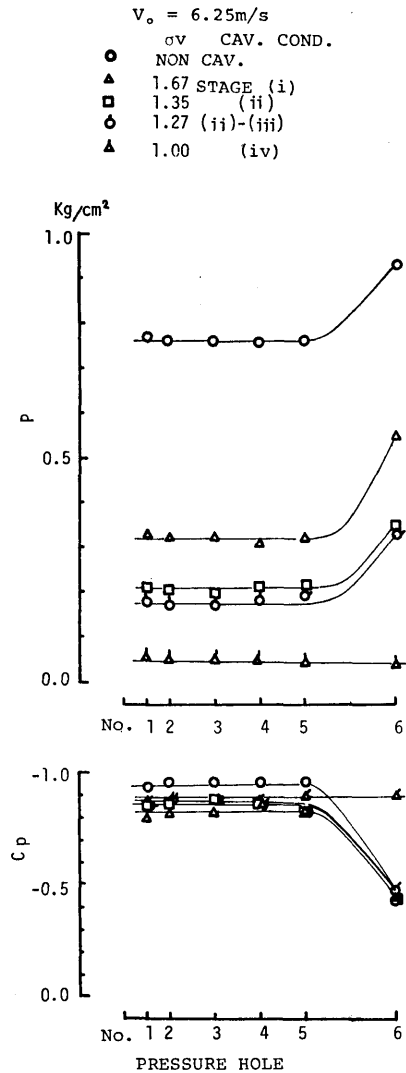


Fig. 3 Pressure distributions behind the wedge

合、安定したシートキャビテーション領域の圧力は飽和蒸気圧に近く、楔形物体の場合と異なり段階 (i) でキャビティが生じたとみなせる。クラウド状の不安定なキャビティ後半では圧力が上昇して、キャビテーションの発生していない時の圧力と飽和蒸気圧との間の値を示している。このことは、キャビテーションが後端において明瞭な境界をもたず、不安定で時間的に変動している事を示していると思われる。

(3) キャビティ形状の時間変化

キャビテーションが発達しつつある段階 (iv) において高速度撮影 (4,000 コマ/sec) および 8 mm シネ

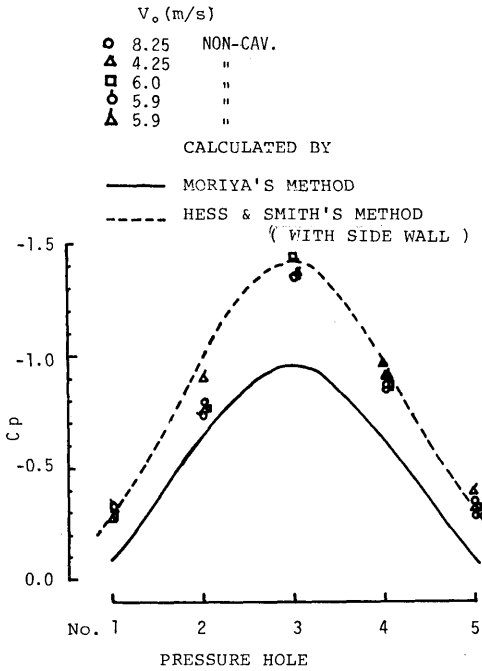


Fig. 4 Pressure distributions on the sinusoidal shaped body in non-cavitating conditions

カメラによる撮影により、キャビティ形状の時間変化を調べた。

楔形物体の場合——

$V_0=8.25$ m/s, $\sigma v=0.99$ の状態における 8mm カメラによる撮影により得た代表的形状を Fig. 6 に示す。キャビティ長さの時間による変化はキャビティ長さの 10% 程度であり、この状態は前述の段階 (iv) に対応

$V_0 = 8.25\text{m/s}$ $\sigma v = 0.99$

RANGE OF VARIATION

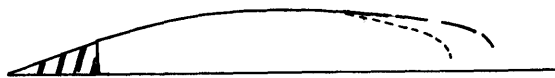


Fig. 6 Cavitation profiles

$V_0 = 8.25\text{m/s}$ $\sigma v = 0.88$

TRANSITION OF CAVITATION

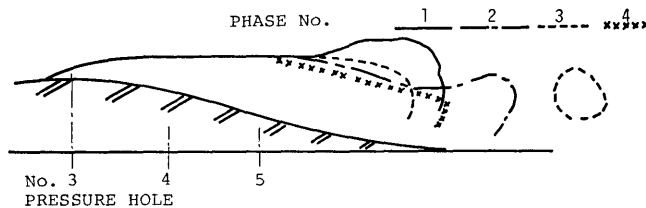


Fig. 7 Cavitation profiles

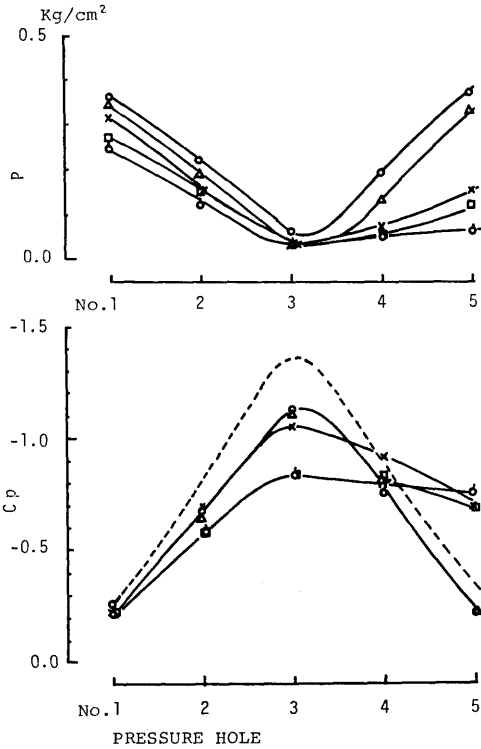
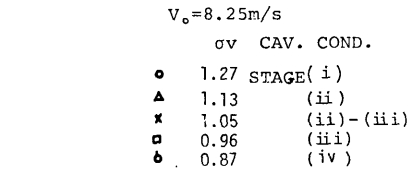


Fig. 5 Pressure distributions on the sinusoidal shaped body in cavitating conditions

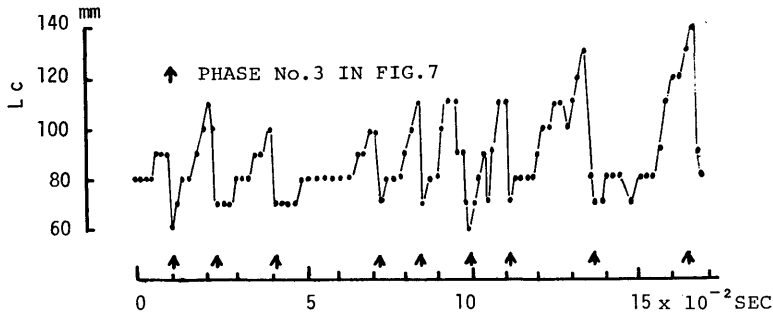


Fig. 8 Variation of cavity length on the Sinusoidal shaped body

する。

正弦波形状物体の場合——

$V_0=8.25$ m/s, $\sigma v=0.88$ の状態における高速度撮影より得られた代表的形状を Fig. 7 に、キャビテーション長さの時間変化を Fig. 8 に示す。キャビテーションが激しく振動している状態から安定成長し始める段階であり、キャビティ後半が周期的な変動（平均で振幅 $\pm 20\%$ F.S., 周期 数十 Hz）をくり返している。

3. 円板のキャビテーション

3.1 概要

2章における楔形物体と同じく幅広い伴流をもつ鈍な軸対称物体である円板に発生するキャビテーションの成長過程の特徴を観察した。同時に円板抗力を測定し、キャビテーションの状態と円板にかかる力の関係を調べた。

3.2 実験装置

実験は船舶技術研究所大型キャビテーション水槽第1計測部 (750 mm ϕ) において行った。使用した円板は直径 200 mm, 厚さ 10 mm の黄銅板製であり、円板を主プロペラ動力計および斜流動力計に取付けた状態を Fig. 9 に示す。主プロペラ動力計の容量はスラスト ± 600 kg, 精度は 0.2% F.S. で駆動電動機に作用するスラストを天秤機構に取付けた歪ゲージ型変換器により検出している。斜流動力計の容量はスラスト ± 200 kg, 精度は 0.3% F.S. で、軸に作用するスラストを軸端の板バネに取付けた歪ゲージ型変換器により直接検出している。検出方式の違いにより主プロペラ動力計に較べ斜流動力計のスラスト応答周波数は高いので、斜流動力計をもちいた変動抗力を測定した。また主プロペラ動力計をもちいた場合は円板後方に障害物がないのでキャビティ後端の状態の観測に適してい

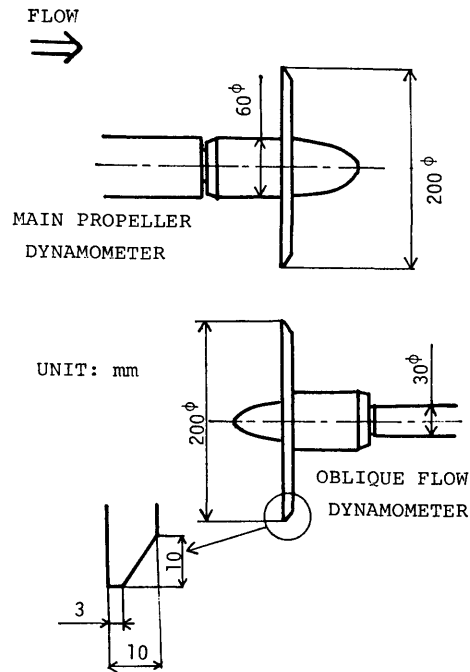


Fig. 9 Disk fitted with the shaft

る。

3.3 実験および実験結果

(1) キャビテーションの成長過程

流速を一定（主プロペラ動力計の場合、6.9 m/s および 5.2 m/s, 斜流動力計では 5.0 m/s および 6.0 m/s）に保ち圧力を調整して、種々の状態におけるキャビテーションを観測、撮影した。空気含有率は主プロペラ動力計での実験時は 0.8~1.0, 斜流動力計での実験時は 0.4~0.5 であった。

(i) 気泡の発生 $\sigma v=1.9\sim 1.5$ (Photo. 12)

伴流中に小さな気泡が発生し、全体に広がる。伴流と一様流との境界付近は気泡の集団が不規

則に発生し、後端で崩壊している。

- (ii) 気泡集団の形成 $\sigma v = 1.5 \sim 1.1$ (Photo. 13)
 伴流中の気泡が大きく密になる。キャビティ後端では気泡集団が崩壊し白濁している。

- (iii) キャビティ領域の形成 $\sigma v = 1.1 \sim 0.9$
 (Photo. 14 (1)~(3))

円板直径程度の長さのキャビティが形成される。表面は波だち、白濁し全体が激しく振動する。小さな気泡で満たされたキャビティの伴流が形成される。

- (iv) キャビティ領域の発達 $\sigma v = 0.9 \sim 0.5$
 (Photo. 15)

キャビティ境界が楕円状になり急激に成長する。キャビティ後端の変動が段階 (iii) の状態より小になる。キャビティ表面は白濁している。

- (v) スーパーキャビテーションの形成 $\sigma v = 0.5 \sim$
 (Photo. 16 (1), (2), Photo. 17 (1), (2))

キャビティはさらに成長し、後端を除いて半透明になり、表面もなめらかになる。キャビティ後部が浮力により上りぎみになる。はねかえり

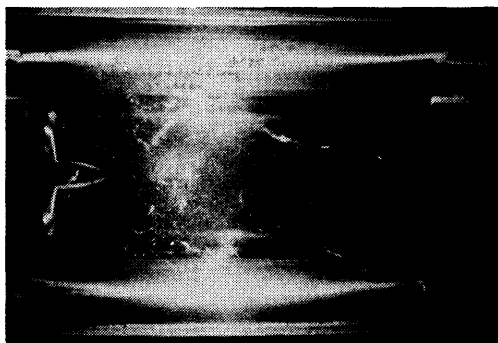


Photo. 12 Disk, Stage (i), $\sigma v = 1.53$

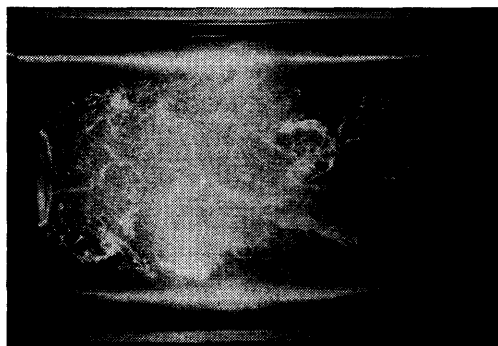


Photo. 13 Stage (ii), $\sigma v = 1.19$

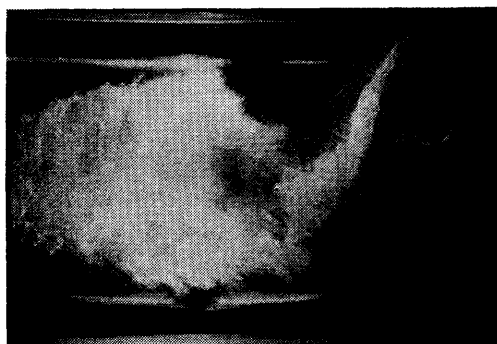


Photo. 14 (1) Stage (iii), $\sigma v = 1.01$

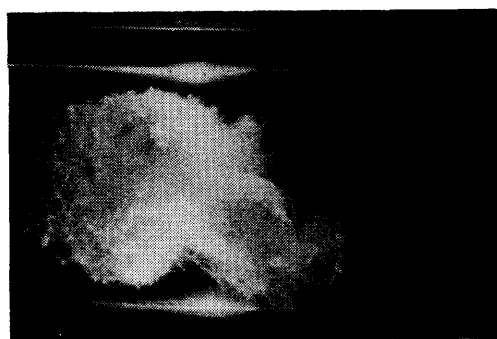


Photo. 14 (2) Stage (iii), $\sigma v = 0.91$

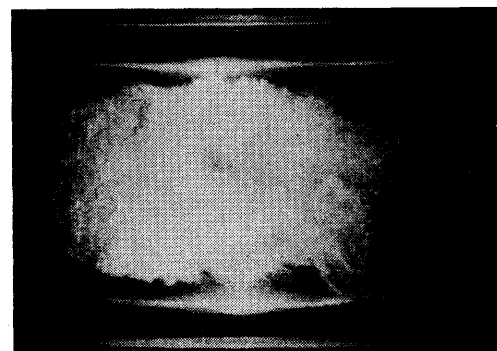


Photo. 14 (3) Stage (iii), $\sigma v = 0.91$

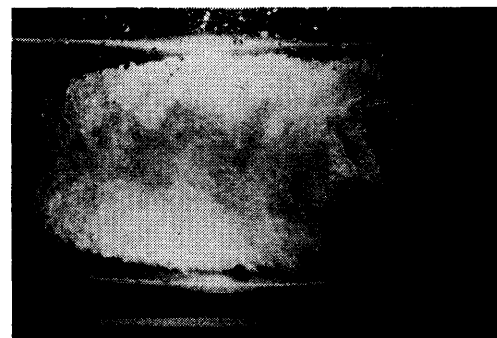


Photo. 15 Stage (iv), $\sigma v = 0.64$

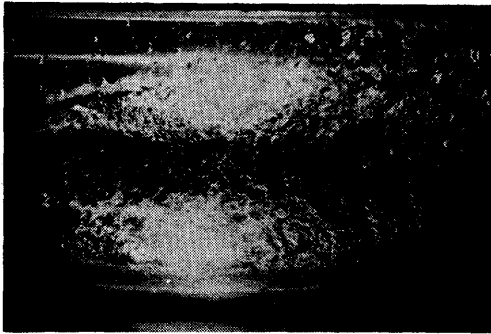


Photo. 16 (1) Stage (v), $\sigma v=0.46$

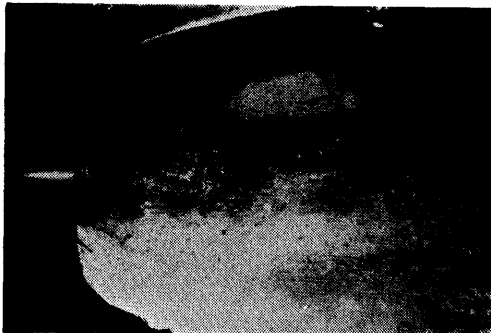


Photo. 16 (2) Stage (v), $\sigma v=0.51$ (in case of oblique flow dynamo.)

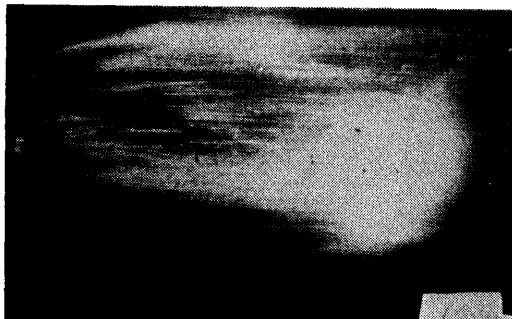


Photo. 17 (1) Re-entrance jet, $\sigma v=0.40$



Photo. 17 (2) Re-entrance jet, $\sigma v=0.35$

噴流が後端からキャビティ内に流れこんでおり、 σv が小になるに従い噴流が短くなる (Photo. 17 の矢印)。

キャビテーション係数に対するキャビテーションの平均的な長さの関係を Fig. 10 に示す。この図からも (iv) の段階から急激に成長している事がわかる。円板におけるキャビテーションの成長過程は第 2 章の楔形物体における成長過程と似ている。

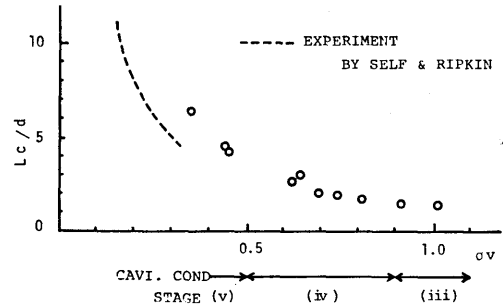


Fig. 10 Cavity length versus cavitation number

(2) 円板抗力の測定

Fig. 9 の状態で計測された全抗力から円板を取った状態で計測された軸抗力を引いた力が軸面積を除いた円板にかかる力であるとした。軸抗力を Fig. 11 (主プロペラ動力計の場合), Fig. 12 (斜流動力計の場合) に示す。これらの図より実験式として次式を求めた。

主動力計:

$$\Delta D = 0.00048 \times \frac{\rho}{2} V_0^2 + 0.0131(P_a - P_0)$$

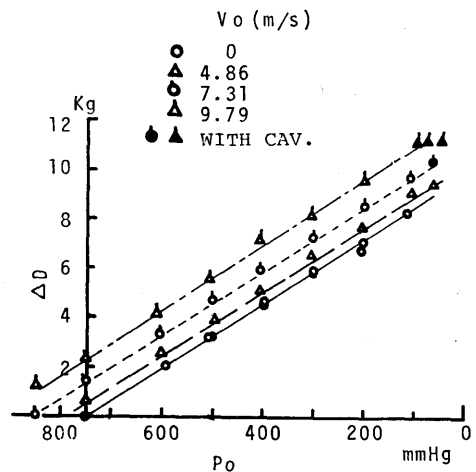


Fig. 11 Drag of the shaft (in case of Main propeller dynamo.)

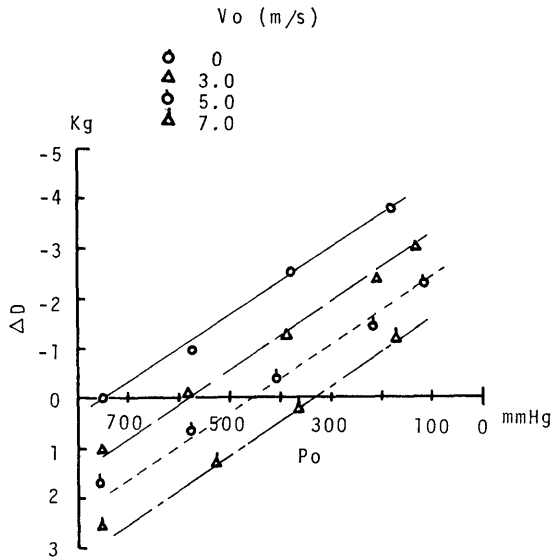


Fig. 12 Drag of the shaft (in case of Oblique flow dynamo.)

斜流動力計:

$$\Delta D = 0.00164 \times \frac{\rho}{2} V_o^2 - 0.0067(P_a - P_o)$$

- P_a : 大気圧 (mmHg)
- P_o : 軸心静圧 (mmHg)
- V_o : 一様流速 (m/s)

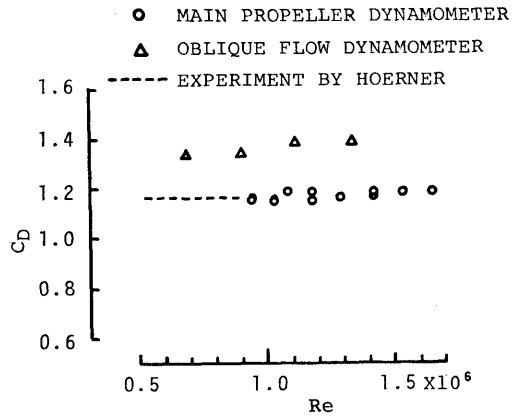


Fig. 13 Drag of the disk in non-cavitating conditions

ΔD : 軸抗力 (kg)

キャピテーションの発生していない状態における抗力を Fig. 13 に示す。流速範囲は 4.6~8.1 m/s (主プロペラ動力計の場合) および 3~6 m/s (斜流動力計の場合) である。円板の抗力係数 C_D は 1.17²⁾ (Re $10^4 \sim 10^6$ 間の平均値) あるいは 1.22 ± 0.05 ³⁾ (Re $1 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$) であると報告されているが、今回主プロペラ動力計で計測した場合はそれらの値に近い。しかし、斜流動力計の場合は十数%の増加を示した。その抗力増加の増因としてはサポート軸の影響等が考

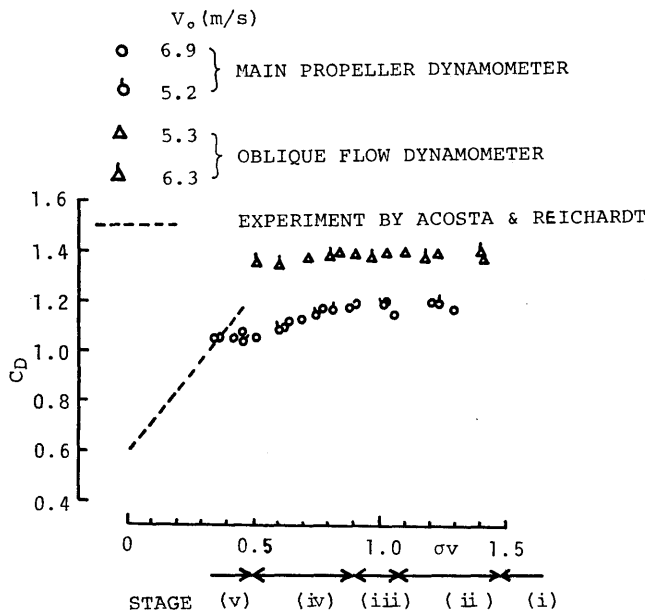


Fig. 14 Drag of the disk in cavitating conditions

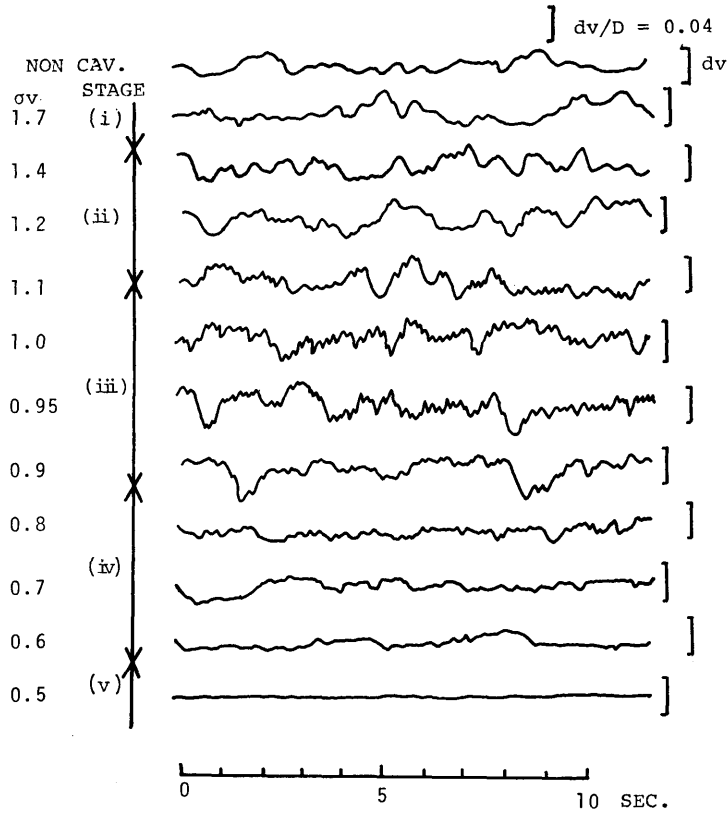


Fig. 15 Variation of the disk drag

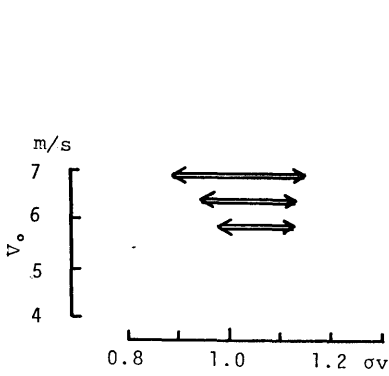


Fig. 16 The range of violent oscillation of the disk

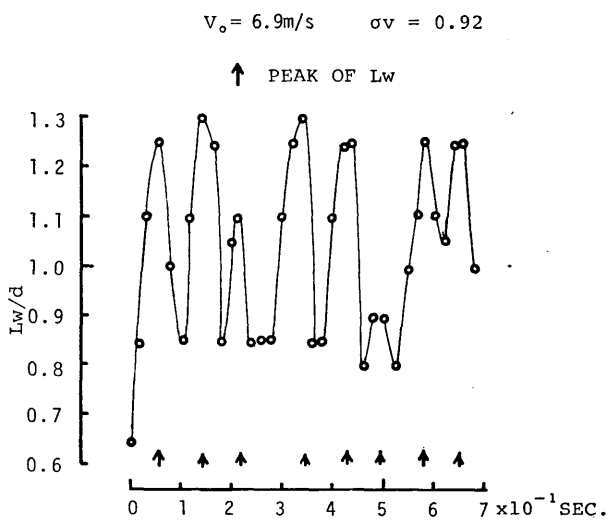


Fig. 17 Oscillation of cavitation behind the disk

えられる。

次にキャビテーションを発生させ、キャビテーション状態の変化に対する抗力の変化を調べた。結果を Fig. 14 に示す。キャビティが安定し、成長を始める段階 (iv) あたりから抗力が減少傾向になっている。

(3) 円板抗力の変動

斜流動力計の場合の抗力の変動記録の 1 例 ($V_0=6$ m/s) を Fig. 15 に示す。円板の場合、幅広い伴流を持ち、キャビテーションの発生していない状態でも抗力は不規則に変動している。キャビテーションが発生しても段階 (i) (ii) では抗力変動の様子に大きな相違はないが、段階 (iii) では変動の振幅が若干大きくなり、振動数の高い変動がでてくる。そして安定したキャビティが形成される直前の不安定域をすぎ段階 (iv) になると変動幅も小になり、振動数も小さくなる。そして段階 (v) になると抗力変動は他の状態の 1/10 以下になる。

主プロペラ動力計の場合で、流速 4~7 m/s に対し激しい振動の起ったキャビテーション係数の範囲を Fig. 16 に示す。 $V_0=6.9$ m/s, $\sigma v=0.92$ (段階 (iii)) におけるキャビテーションの挙動を高速度撮影 (200 コマ/sec) した。変動の代表寸法としてキャビティの最大幅の円板からの距離 l_w をとり、その時間変化

を Fig. 17 に示す。変動周期の平均は約 12 Hz である。斜流動力計の場合と同じく段階 (iv) で抗力変動は小になり、段階 (v) で安定する。

上に述べた事から円板まわりの流れ場は、段階 (i) (ii) ではキャビテーションが発生していない時と大きな相違はなく、段階 (iii) で円板背後にキャビティが形成される直前の不安定な状態になり、段階 (iv) (v) で安定したキャビティが形成される事が分る。

4. 翼形のキャビテーション

4.1 概 要

翼形のキャビテーション特性に関しては多くの実験が報告されている^{6)~11)}。翼形に発生するキャビテーションの成長過程をキャビテーション長さで代表させ、それらの実験結果を整理した。また、線形キャビティ・モデルを使った計算結果との比較を行った。

4.2 データの整理

既に発表されている^{6)~11)}翼形のキャビテーション長さに関する実験データを整理した。使用したデータの翼形を Table 2 に示す。翼形の翼厚比 3.5~12%, 迎角 2°~6° の範囲内のデータである。

4.3 キャビテーションの成長過程

キャビテーションの成長過程は 2 章に述べた正弦波

Table 2 Experiments of hydrofoils

Blade	Thickness Ratio	Blade Section	Attack Angle (deg.)	Reporter
M ₁	0.04	symmetrical circular arcs	2, 3, 4	Meijer ⁶⁾
M ₂	0.04	plano-convex	1~6	Meijer ⁶⁾
A _{3.5}	0.035	aerofoil	2, 4	Numachi ⁷⁾
O _{3.5}	0.035	plano-convex	2	Numachi ⁷⁾
O _{3.5} ¹	0.035	O _{3.5} nose up	2, 4	Numachi ⁷⁾
O _{3.5} ²	0.035	O _{3.5} tail up	3, 4	Numachi ⁷⁾
A ₄	0.04	aerofoil	4	Numachi ⁷⁾
A	0.07	plano-convex	4, 6, 8	Acosta ⁹⁾
O ₇	0.07	plano-convex	4, 5	Numachi ⁷⁾
O ₇ ¹	0.07	O ₇ nose up	3, 4, 5	Numachi ⁷⁾
O ₇ ²	0.07	O ₇ tail up	4	Numachi ⁷⁾
Y-6	0.06	aerofoil	4	Numachi ⁷⁾
W-2	0.06	aerofoil	2, 3, 5	Oossanen ⁸⁾
AU	0.097	aerofoil	3, 5	Miyata ¹⁰⁾
A _{11.7}	0.117	aerofoil	4	Numachi ⁷⁾
O _{11.7}	0.117	A _{11.7} modify	4	Numachi ⁷⁾
O _{11.7} ²	0.117	A _{11.7} modify	5	Numachi ⁷⁾
Alex.	0.12	elliptic-parabollic	0~12	Alexander ¹¹⁾

形物体の場合と似ており、最初安定したシートキャビテーションが発生し、シートキャビテーションが発達してクラウド状に不安定になり、スーパーキャビテーションになり安定する、という過程をとる^{6),7),9),10)}。

ただし、キャビテーション長さ (l_c) のキャビテーション係数 (σv) に対する変化は翼形、迎角 (α) により違ってくる。段階 (i) (ii) のシートキャビテーション状態における σv , α と l_c の関係のデータを Fig. 18

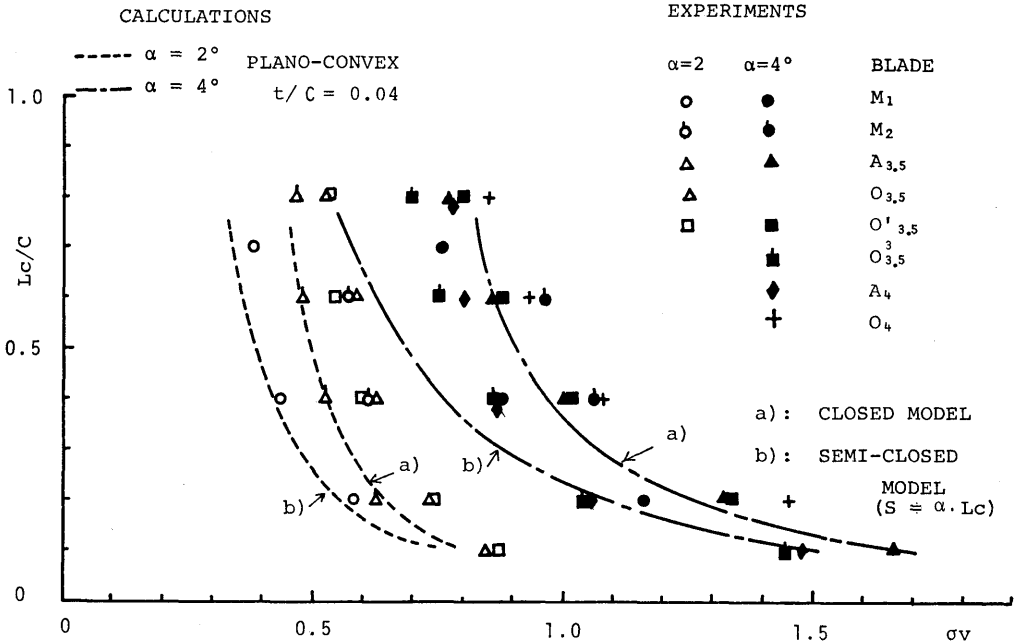


Fig. 18 (1) Cavity length versus cavitation number ($t/c \approx 4\%$)

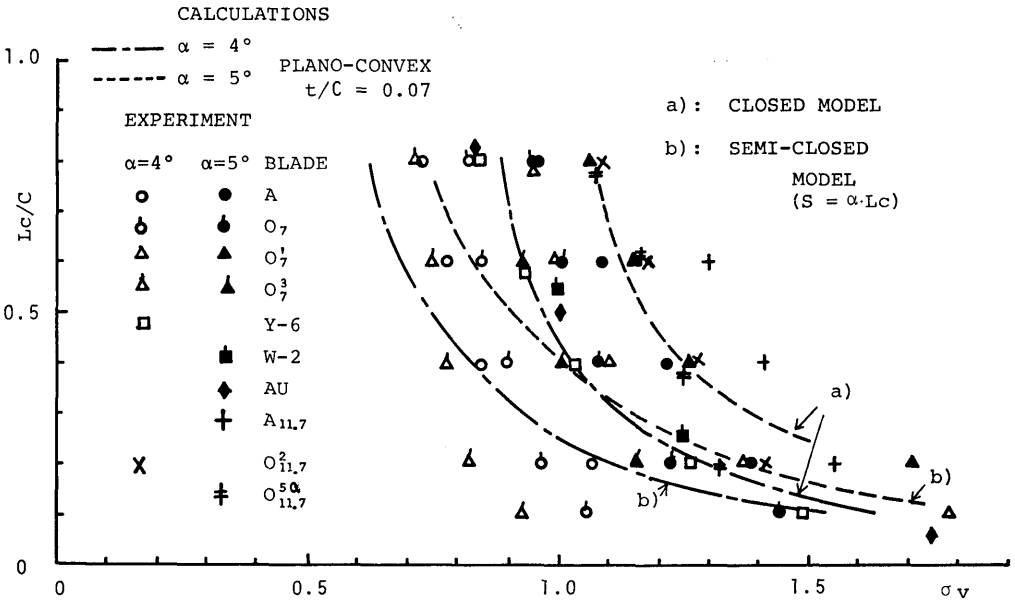


Fig. 18 (2) Cavity length versus cavitation number ($t/c \geq 7\%$)

(1), (2) に示す。この図中のキャビテーション長さの値は実験値をフェアリングして得られた値である。線形理論を用いた西山の方法¹⁵⁾による計算結果を Fig. 19 および Fig. 18 中の曲線で示してある。計算により得られた結果と実験結果とは十分に一致してはいない。

キャビテーションが翼弦後端付近に成長した状態が段階 (iii) で、キャビテーション、翼形にかかる力とも最も不安定になる。この段階では、揚力が低下を始

め、同時に抗力が最大になる。各翼形で激しい振動がみられた^{7),9),11)}迎角、キャビテーション係数の範囲を Fig. 20 に示す。図によれば振動は $\alpha/\sigma v$ が 0.1 近くで発生し始めており、また迎角が小なる時は翼厚比が大なる翼形ほど振動が発生しにくくなっている。キャビテーション長さが翼弦長よりさらに成長し (段階 (iv)), 段階 (v) のスーパーキャビテーションの状態になるとキャビテーション、翼形にかかる力ともに安定する。スーパーキャビテーション状態の σv , α と

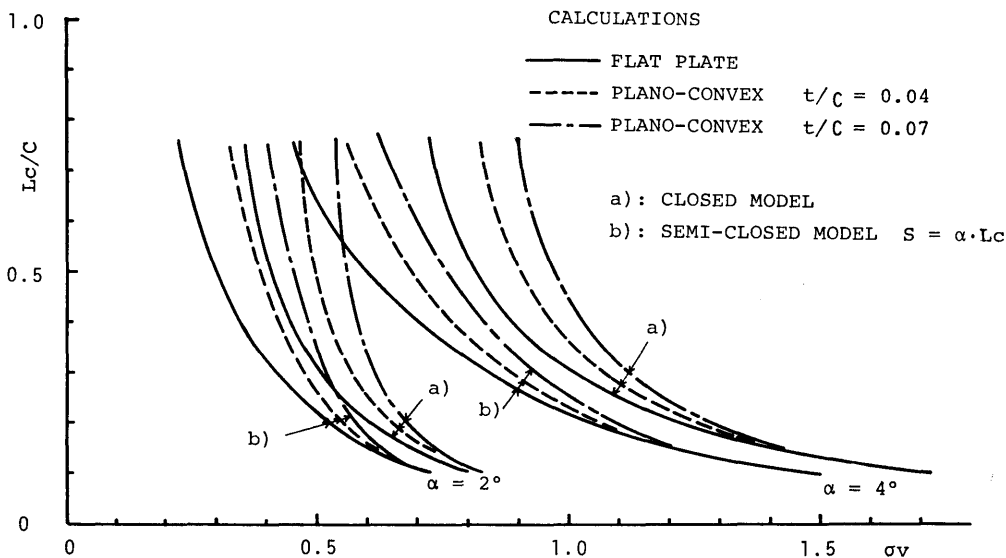


Fig. 19 Numerical results

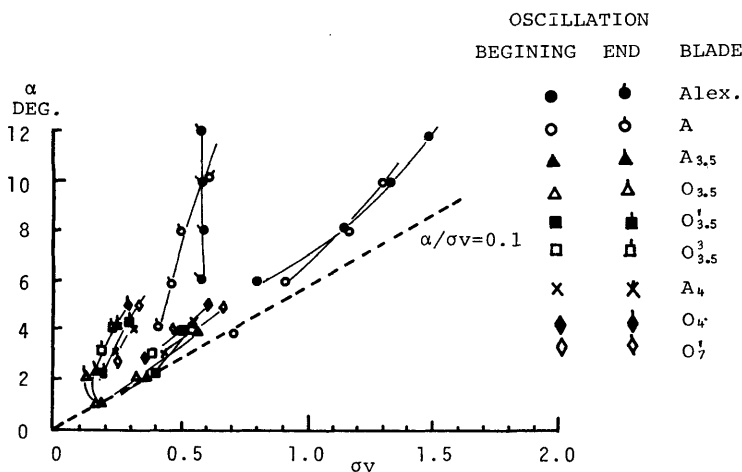


Fig. 20 The range of violent oscillation of the hydrofoils

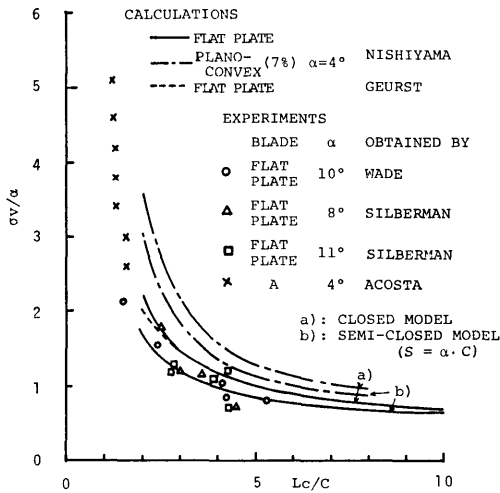


Fig. 21 Cavity length versus cavitation number ($l_c > C$)

l_c の関係の 1 例を Fig. 21 に示す。線形キャビティ・モデルによるキャビテーション長さの推定は定量的にはまだ不十分の様である。

5. まとめ

2, 3, 4 章で 2 次元楔形と正弦波物体, 円板および翼形に発生するキャビテーションの成長過程を分類した。キャビテーションの初期の段階 (i) (ii) はキャビテーションのない場合の流れ場の様子を支配される。幅広い伴流をもつ鈍な物体 (楔形物体, 円板) では伴流全域にわたって気泡が生じ, 気泡の密度は増加していくが, 物体背後は気泡を含んだ不安定なうずの集団である。なだらかな表面圧力分布をもち伴流のほとんどない流線形物体 (正弦波形物体, 翼形) では比較的安定したシートキャビテーションが発生し, 気泡の崩壊の様子も鈍な物体に比べると激しくない。

しかし, キャビテーションが発達し始めると鈍な物体と流線形物体に類似の状態がみられる。小さな気泡集団が集まるかまたはシートキャビテーションが成長し, 大きな一つのキャビティを形成し始める時期から, キャビテーションが急激に成長し始める直前にかけてキャビテーションおよび物体にかかる力とも最も不安定になる (段階 (iii))。そしてその時期をすぎ, さらに発達したキャビテーションは前部の比較的安定した領域と後部のクラウド状の不安定領域より成立している (段階 (iv))。そしてスーパーキャビテーションの状態になるとキャビテーション, 物体にかかる力とも

安定する。他の段階に比較して, 段階 (iii) における不安定さは流線形物体においてきわだち, 段階 (v) における安定さは鈍な物体においてきわだっている。

鈍な物体における段階 (v) の状態, 流線形物体における段階 (i), (v) の状態はキャビティ内圧は蒸気圧で一定, キャビティ長さが時間により変化しないとする現在のキャビティ・モデルに近いと思われる。しかし, 翼形の段階 (i), (ii), (v) における線形キャビティ・モデルを使用したキャビテーション特性の計算結果は十分に実験結果を説明しえないところがあり, キャビティ・モデルの一層の研究が望まれる。

2 次元体の実験は著者が東京大学に研修中に行われたもので, 船舶工学科田宮真教授 (当時), 加藤洋治助教授 (当時), 高速力学研究室諸氏に多大の御指導, 御援助をいただきました。また, Hess & Smith 法による翼面圧力計算のプログラムは推進性能部児玉技官より借用しました。紙上にて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 斎藤清一編, “スーパーキャビテーション”, 菜根出版, 昭和 47 年
- 2) S. F. Hoerner, “Fluid-Dynamic Drag”, Published by the Author
- 3) F. W. Roos, W. W. Willmarth, “Some Experimental Results on Sphere and Disk Drag”, AIAA Journal, Vol. 9, No. 2, 1971
- 4) G. J. Klose, A. J. Acosta, “Some New Measurements on the Drag of Cavitating Disks”, J. of Ship Research, September, 1965
- 5) B. E. Gadd, S. Grant, “Some Experiments on Cavities behind Disks”, J. of Fluid Mechanics, Vol. 23, Part 4, 1965
- 6) M. C. Meijer, “Some Experiments on Partially Cavitating Hydrofoils”, I.S.P., Vol. 6, No. 60, 1959
- 7) 沼知福三郎, 角田賢治, 千田一郎, “製作しやすい翼型のキャビテーション性能” (第 1 報~第 10 報), 東北大速研報告, 第 5 巻~第 9 巻, 昭和 26 年~28 年
- 8) P. Van Oossanen, “Calculation on Performance and Cavitation Characteristics of Propellers Including Effects of Non-Uniform Flow and Viscosity”, N.S.M.B. Publication No. 457
- 9) R. B. Wade & A. J. Acosta, “Experimental Observations on the Flow past a Plano-Convex Hydrofoil”, J. of Basic Engineering, ASME, March, 1966
- 10) 宮田秀明, 田宮 真, 加藤洋治, “部分キャビテーション翼の特性”, 造船学会論文集, No. 132, 1972

- 11) A. J. Alexander, "Hydrofoil Oscillations Induced by Cavitation", Conference on Cavitation, Heriot-Watt University, September, 1974
- 12) J. A. Geurst, "Linearized Theory for Partially Cavitated Hydrofoils", I.S.P., Vol. 6, No. 60, 1959
- 13) J. A. Geurst, "Linearized Theory for Fully Cavitated Hydrofoils", I.S.P., Vol. 7, No. 65, 1960
- 14) 花岡達郎, "任意翼型のキャビテーション流場の線型理論", 造船学会論文集, No. 117, 118, 119, 1965~1966
- 15) 西山哲男, 伊藤 惇, "特異点法による部分空どう翼の基礎式とその解法", 機械学会論文集, Vol. 43, No. 370, 1977
- 16) 西山哲男, "特異点法による超空どう翼の基礎式とその解法", 機械学会論文集, Vol. 35, No. 277, 1969
- 17) R. T. Knapp, J. W. Daily, F. G. Hammitt, "Cavitation", McGRAW-HILL