

物体形状のキャビテーション発生に及ぼす影響について(第4報)

その他(別言語等)のタイトル	On the Effects of Submerged Body Shapes on Cavitation Occurrence (Part 4)
著者	奥田 教海, 海鉾 武司, 遠藤 剛, 一場 久美
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	7
号	2
ページ	563-573
発行年	1971-09-15
URL	http://hdl.handle.net/10258/3533

物体形状のキャビテーション発生に 及ぼす影響について 第4報

奥田 教海・海鉦 武司
遠藤 剛*・一場 久美

On the Effects of Submerged Body Shapes on Cavitation Occurrence Part 4

Kyôkai Okuda, Takeshi Kaihoko, Tsuyoshi Endô
and Hisayoshi Ichiba

Abstract

The authors report the experimental results of the effects on occurrence and growth of cavitation by changing the shapes of lenticular hydrofoils.

The main results of the experiments are as follows:

a) The incipient cavitation factors K_i are strongly influenced by attack angles, but K_{130} , the cavitation factor when the growth of cavitation is 130% long about the chord, are little influenced by attack angles.

b) The following experimental formulas are obtained about K_{130} ,

$$K_{130} = -C_{p0} + \frac{A_0}{v^2}, \quad K_{130} = -C_{p\min} + \frac{A}{v^2},$$

where C_{p0} is the actual pressure coefficient on the hydrofoils, $C_{p\min}$ the theoretical minimum pressure coefficient, v the flow velocity; A and A_0 are the constants obtained by the tests.

c) Non-dimensional number, $K_{130} \times l/t$, has constant value independent of thickness ratio t/l .

I. ま え が き

同題名の第3報では、一連の対称円弧翼の形状がキャビテーション発生に及ぼす影響について、特に初生キャビテーションについて報告している。本報告では、前報と同じ対称円弧翼を供試物体とし、迎え角を種々に変化させそれらに発生するキャビテーションの成長を調べた結果について述べる。そして第1報で報告した欠円翼についてのキャビテーションの発生と比較した。更に近年注目されているスーパーキャビテーション（キャビテーション成長度 $\lambda/l \times 100 = 150\%$ 以上）について調べるため、スーパーキャビテーションに移行する遷移領域であると考えられる成長度 $\lambda/l \times 100 = 130\%$ のキャビテーションに注目してその結果について報告する。

* 旭川工業高等専門学校 機械工学科

II. 実験装置および方法

2.1 実験装置および方法

第1, 2報に詳述してあるので, ここでは省略する。

2.2 供試物体

弦長が総て等しく厚さの異なる5種の対称円弧翼を使用した。詳細な寸法は図-1の通りである。材質は強度, 耐腐蝕性に優れた SUS 28, 32 を使用した。

2.3 圧力分布測定用翼

弦長 100 mm, 厚さ 29.4 mm の対称円弧翼 (No. 3 翼と相似形である) を用いて翼表面の圧力分布を測定した。翼表面では上面, 下面各々に14個の圧力取出孔が設けられている。詳細は図-2に示す。

翼名称	c	c/l	t	β
No. 1	10	0.133	147	15.2
No. 2	14	.187	107	21.2
No. 3	22	.293	71	32.7
No. 4	30	.400	56	43.6
No. 5	34	.453	50	48.8

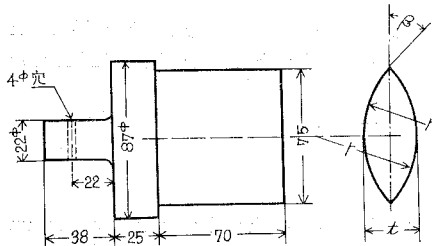


図-1 供試物体

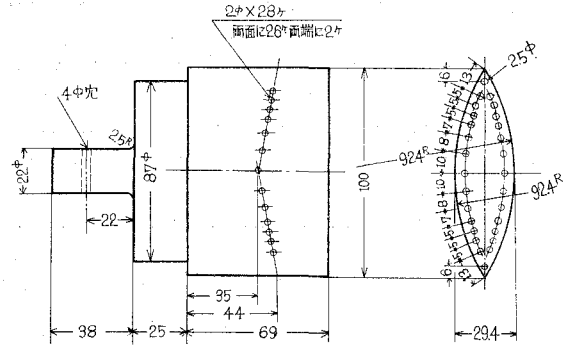


図-2 圧力分布測定用翼

III. 実験結果および考察

本実験は迎え角 $\alpha = 0^\circ \sim 8^\circ$, 流速 $v = 7 \sim 12$ m/sec の範囲で行なった。このときキャビテーションが発生した個所は図-3に示すように3個所であり, それぞれ第 I, II, III 種のキャビテーションと名付ける。

以下に使用するキャビテーション係数, 圧力係数の定義は次の通りである。

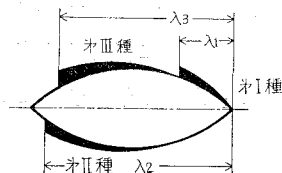


図-3

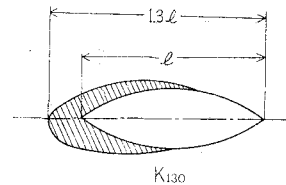


図-4 130% まで成長したキャビテーション

初生キャビテーション係数 $K_i = \frac{p_s - p_v}{(1/2)\rho v^2}$

130% キャビテーション係数 $K_{130} = \frac{p_s - p_v}{(1/2)\rho v^2}$

圧力係数 $C_p = \frac{p - p_s}{(1/2)\rho v^2}$

ただし、 p_s, v : 近より流れの静圧および流速

ρ, p_v : その水の温度に相当する密度および蒸気圧

p : 翼表面上の圧力

実験の結果、迎え角 α によって各供試翼に発生したキャビテーションの型は表-1のとおりであった。

表-1

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
第 I 種	$\alpha=3^\circ\sim 8^\circ$	$4^\circ\sim 8^\circ$	なし	なし	なし
第 II 種	$0^\circ\sim 8^\circ$	$0^\circ\sim 8^\circ$	$0^\circ\sim 8^\circ$	$0^\circ\sim 8^\circ$	$0^\circ\sim 8^\circ$
第 III 種	$0^\circ\sim 3^\circ$	$0^\circ\sim 3^\circ$	$0^\circ\sim 8^\circ$	$0^\circ\sim 8^\circ$	$0^\circ\sim 8^\circ$

3.1 対称円弧翼のキャビテーション発生状況線図

図-5(a)から図-9(b)までは、5種類の対称円弧翼に生じた第I, II, III種キャビテーションの状況を総合的に見るためのキャビテーション発生状況線図を示す。これらの図は迎え角 α とキャビテーション係数 K を種々に変えてキャビテーションの成長度を調べたものである。ここでキャビテーション成長度は翼先端より測定したキャビテーションの長さ λ と翼弦長 l との比を百分率で表わしたものである。

これらの図で No. 1 と No. 2 の比較的厚弦比 (t/l) の小さい翼には第I種キャビテーショ

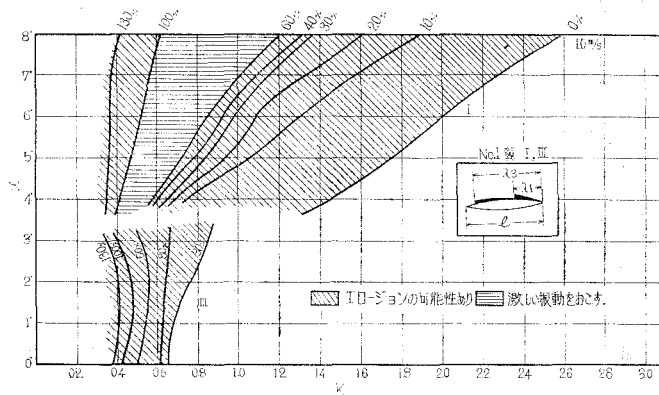


図-5 (a)

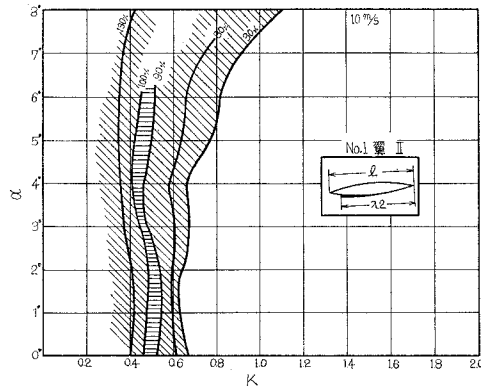


図-5 (b)

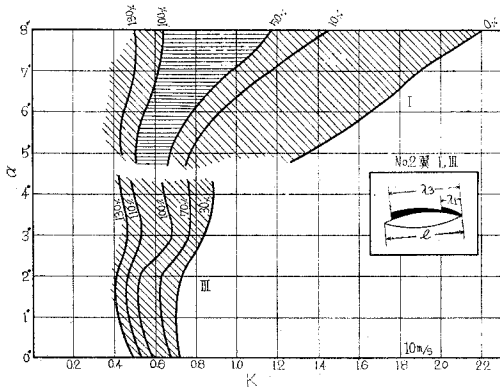


図-6 (a)

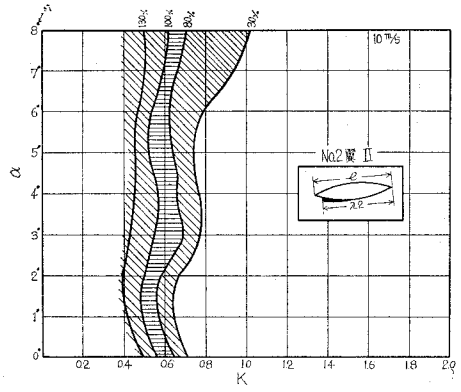


図-6 (b)

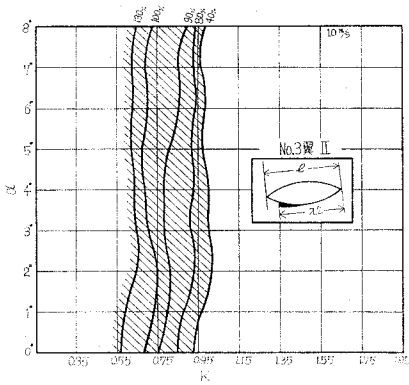


図-7 (a)

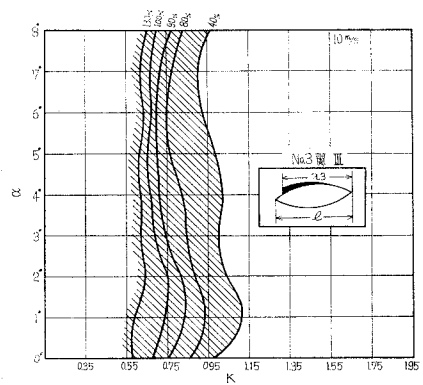


図-7 (b)

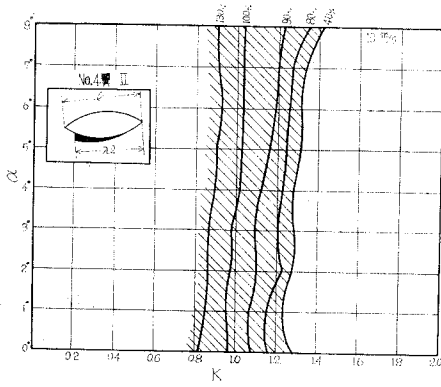


図-8 (a)

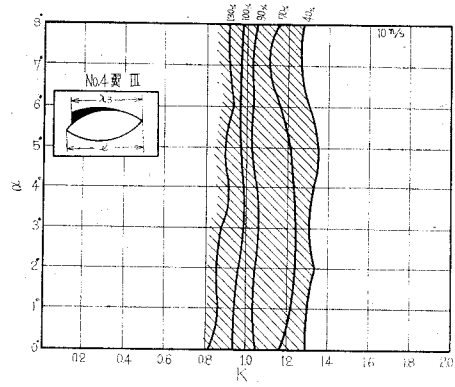


図-8 (b)

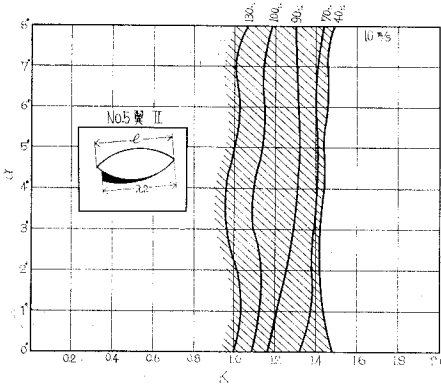


図-9 (a)

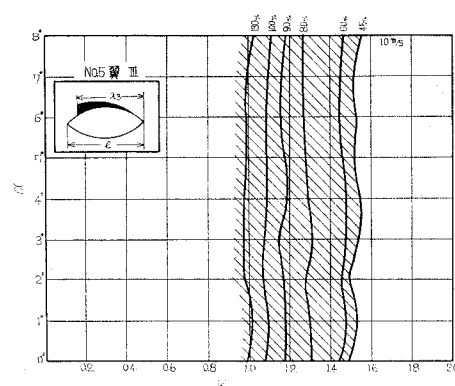


図-9 (b)

ンが発生しているが、他の翼には発生していないことがわかる。また、第II, III種のキャビテーションについては迎え角の影響をあまりうけないということが5種の翼に対していえる。一方第I種のキャビテーションは迎え角の影響が著しく現われることがわかる。

3.2 欠円翼と対称円弧翼の比較

欠円翼と対称円弧翼とのキャビテーション発生を比較するため、第1報で報告した欠円翼による実験結果と本報での結果を $K-\lambda/l$ と $K_s-(\beta-\alpha)$ について比較する。

3.2.1 $K-\lambda/l$ について 図-10, 図-11 には一例として No. 1 翼に対して迎え角をパラメータとして欠円翼と対称円弧翼とを比較している。図でわかるように第I種キャビテーションについては欠円翼と対称円弧翼の違いがわかり、同一のキャビテーション係数に対しては対称円弧翼のキャビテーション成長度の方が小さい。すなわち対称円弧翼の方がキャビテーションが発生しにくいということになる。しかしこのことは厚弦比の小さい場合にのみにしかいえない。一方第III種キャビテーション(図-11)についてはその差異はない。

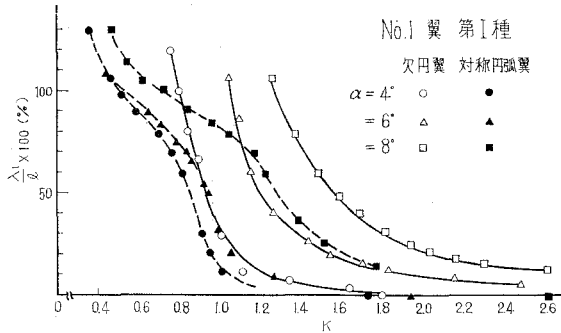


図-10 $K-\lambda/l$

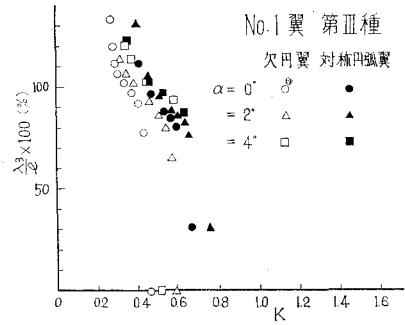


図-11 $K-\lambda/l$

3.2.2 K_c と $\beta-\alpha$ について 図-12 には $K_c-(\beta-\alpha)$ について欠円翼と対称円弧翼を比較してある。No. 1 と No. 2 の翼には第 I, III 種初生キャビテーションが発生し、他は第 III 種初生キャビテーションについてプロットしたものである。この図は欠円翼と対称円弧翼のキャビテーション発生を比較したものであり、 K_c に対する $(\beta-\alpha)$ の傾向はほぼ似ている。結局、当然のことかもしれないが、欠円翼と対称円弧翼の結果は第 II 種キャビテーションを考えに入れないならば、総体的に類似していることがわかる。これより見れば第 I, III 種については翼を形作っている円弧の曲率と流れに対する円弧の姿勢がキャビテーション発生に大きな影響を与えるものであり、欠円翼下面の弦はあまり大きな影響を与えないということがわかる。

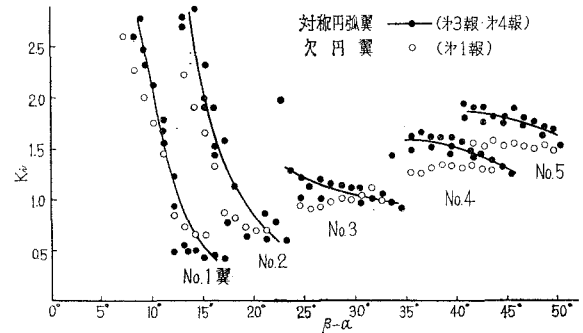


図-12 K_c と $(\beta-\alpha)$

3.3 K_{130} について

3.3.1 $K_{130}-\alpha$ 図-13 は K_{130} に対する迎え角の影響を調べたものである。 K_{130} はほとんど迎え角によって影響されないことがわかる。

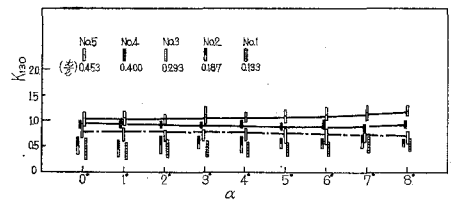


図-13 130% のキャビテーション係数と迎え角

3.3.2 圧力分布について 図-14 はキャビテーション発生のない場合の翼表面圧力分布とキャビテーションが発生している場合の翼表面圧力分布を示す。この図よりキャビテーションが成長するにしたがって、翼表面圧力分布は平坦になってくる。

以下 130% のキャビテーションに注目してみる。キャビテーションは物体表面の圧力が蒸

気圧に低下したところから発生し始めると仮定すれば $l_{im} C_p = -K$ である。翼表面圧力分布図に $-K$ の値を書き入れたのが図-15である。明らかに、キャビテーションが発生していると思われる部分の圧力係数と $-K$ の値には少し差のあることがわかる。その差は流速の大きいほど少なくなっていることがわかる。したがって、キャビテーションが蒸気圧点より少し高い圧力の部分から発生していると仮定してつぎの式を考えた。

$$\begin{aligned}
 K_{130} &= \frac{p_s - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2} \\
 &= \frac{p_0 - p_{cr}}{\frac{1}{2} \rho v^2} - \frac{p_0 - p_s}{\frac{1}{2} \rho v^2} + \frac{p_{cr} - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2} \\
 &= -C_{p0} + \frac{p_{cr} - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2} \\
 &= -C_{p0} + \frac{A_0}{v^2}
 \end{aligned}$$

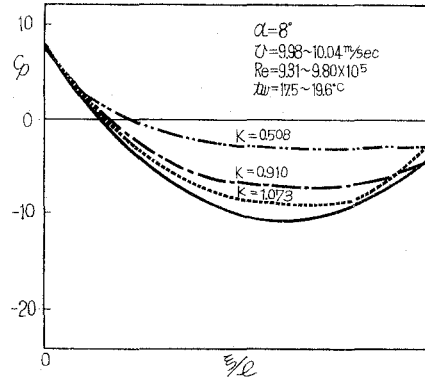
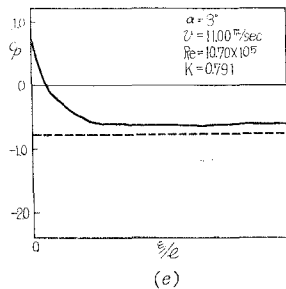
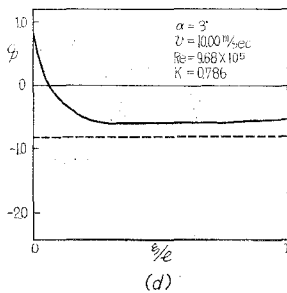
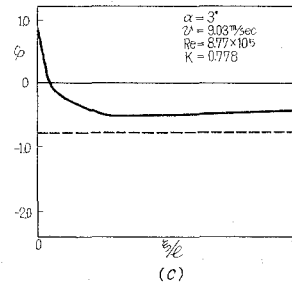
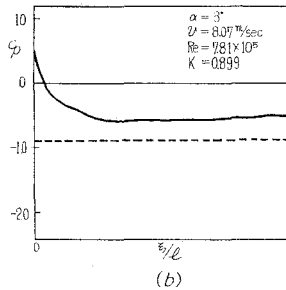
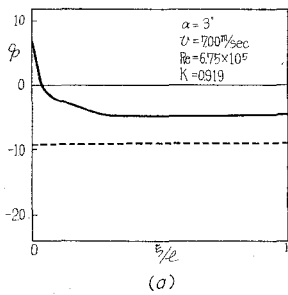


図-14 翼表面の圧力分布



— 実測値
 - - - K_{130}

図-15 翼表面圧力分布とキャビテーション係数

ただし p_0 : キャビテーションが発生している部分の翼表面における圧力

p_{cr} : キャビテーションが発生する臨界圧力

A_0 : 定数

ここで $(K_{130} + C_{p0})$ と α の関係を流速をパラメータにとって示すと 図-16 のようになる。定数 A_0 の値を計算するために、 $v^2(K_{130} + C_{p0})$ の値をまとめ 図-17 に示した。上述の式の A_0 の値がほぼ 18~25 の範囲で、流速による効果を表わすことができる。

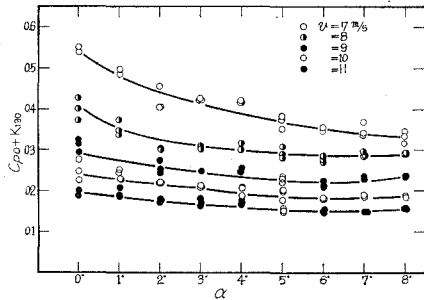


図-16 キャビテーション係数と圧力係数の差

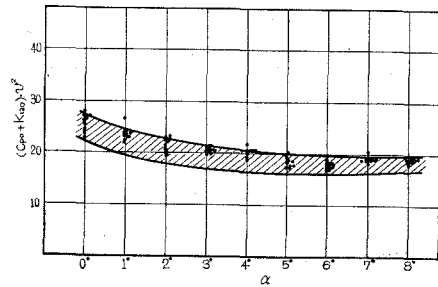


図-17 A_0 と迎え角

3.3.3 キャビテーション発生状況線図よりの K_{130} について 図-18 は No.1~No.5 翼について、 K_{130} 、 $-C_{p0}$ と理論最少圧力係数 C_{pmin} との関係を示してゐる。 K_{130} と $-C_{p0}$ 、 C_{pmin}

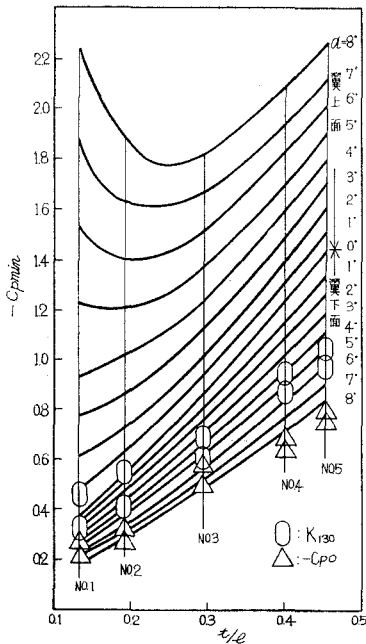


図-18 K_{130} 、 $-C_{p0}$ と C_{pmin} の比較

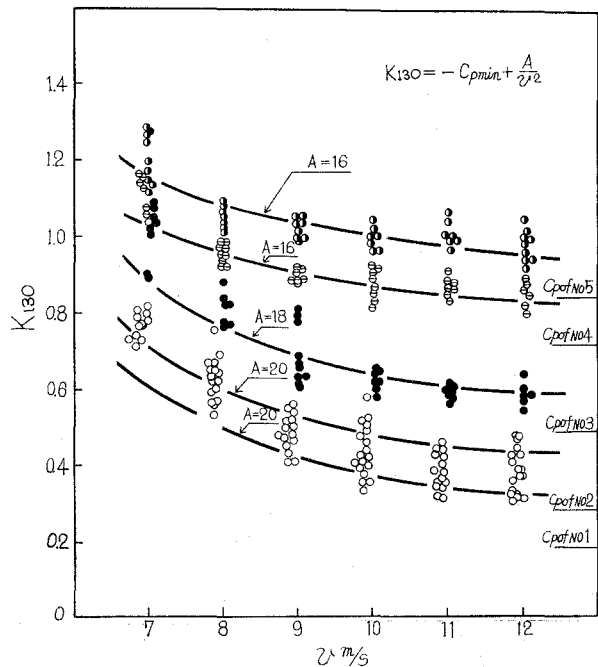


図-19 130% キャビテーションの実験値と計算値

と C_{p0} の値がよく対応していることがこの図からわかる。このことから次の式を考えた。

$$K_{130} = -C_{pmin} + \frac{A}{v^2}$$

この式と実験値を比較したのが図-19である。Aの値は16~20の範囲で、実験値とよく一致している。この式を用いて翼の形状の流速による影響を表わすことができる。

3.3.4 各種寸法の影響

a) 厚弦比: K_{130} と t/l の関係を示したのが図-20である。両者はほぼ比例して変化している。比例定数は流速によって変化させるのが望ましい。実験結果の中で流速の比較的遅い場合の傾向を一点鎖線で示し、流速の比較的早い場合の傾向を実線で示した。

b) 曲率半径: K_{130} と r/r_0 の関係を示したのが図-21である。両者はほぼ反比例の関係を示している。ただし、 r_0 は規準値で弦長 l を直径とする円の半径である。また図中の線の意味は図-20と同一である。

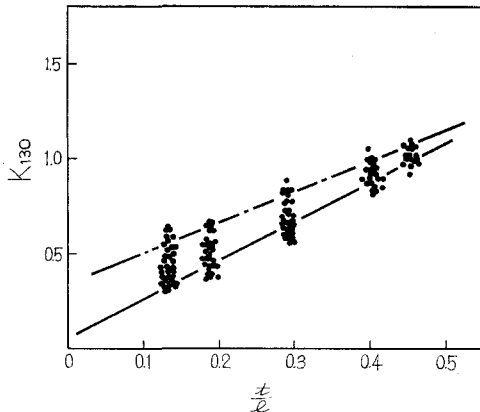


図-20 厚弦比と130%キャビテーション係数

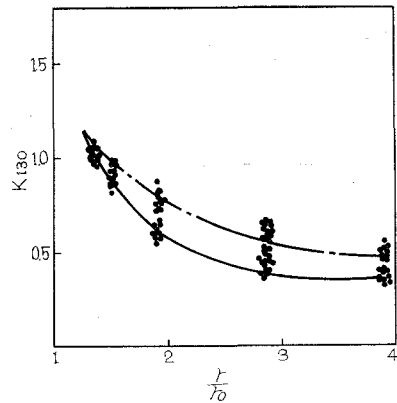


図-21 曲率と130%キャビテーション係数

3.3.5 $K_{130} \cdot l/t$ について

前述の結果より $K_{130} \cdot l/t$ という無次元数はほぼ一定値をもつことが予想される。流速の速い場合 $v = 10$ m/sec について計算したものを図-22に示した。成長したキャビテーションをまとめる際にこの無次元数は有効であると思われる。

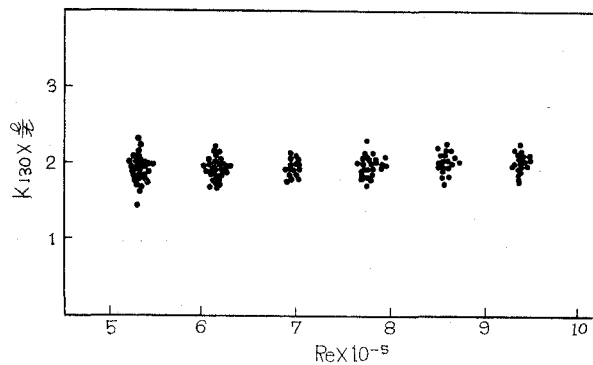


図-22 $K_{130} \times \frac{l}{t}$ と Re

4. 対称円弧翼の周りの圧力分布 に関する理論と実験との比較

対称円弧翼の周りの理論圧力分布は非圧縮性ポテンシャル論より求めることができる。解析方法は第1報と同じであるが、この場合、第1報における γ の式中 θ_2 だけ異なり、 $\theta_2 = -\theta_1$ とおけばよい。本報告では解析手順を省略する。計算には室蘭工業大学計算機室 FACOM 231を使用した。圧力分布測定用翼について迎え角 $0^\circ \sim 10^\circ$ まで1度刻みで計算した結果を図-23(a), (b)に示す。また図-24(a), (b)には理論と実測の圧力分布の比較の例を2つあげてある。(a)は比較の実験結果と一致しているもの、(b)はかなり差のあるものである。

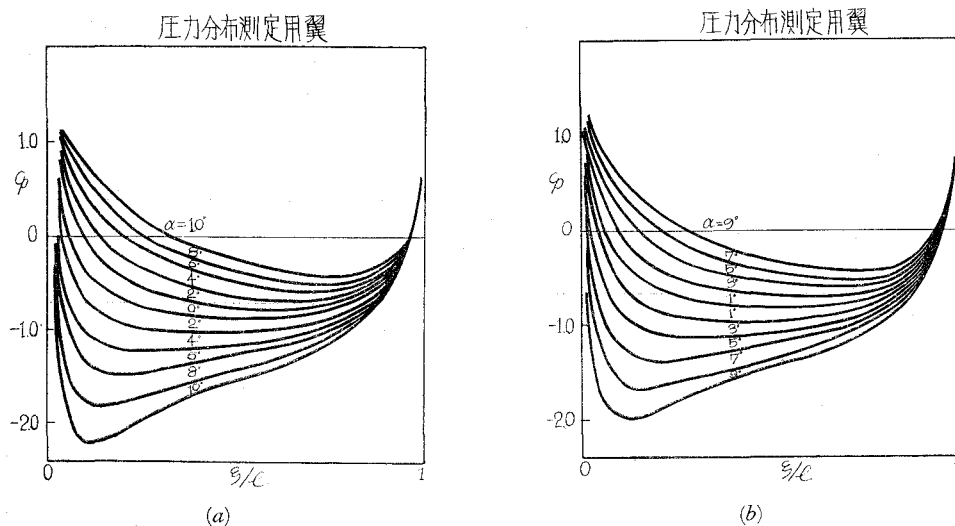


図-23 理論圧力分布

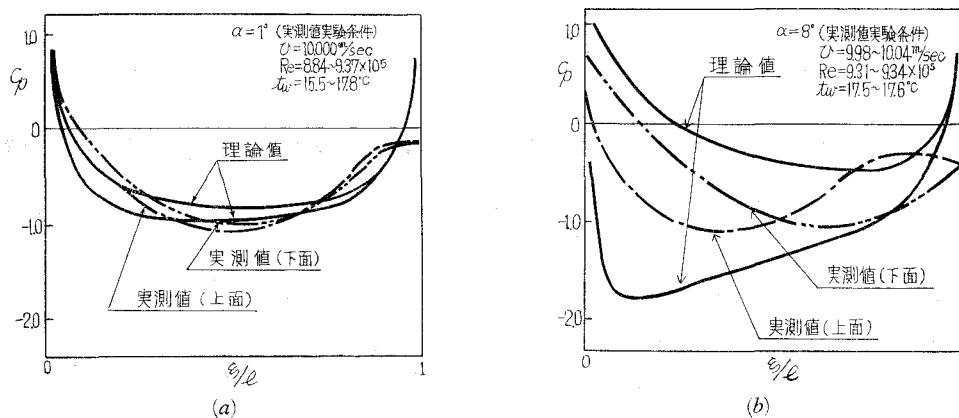


図-24 圧力分布の理論値と実測値

IV. む す び

以上対称円弧翼と欠円弧翼との比較、130%に成長したキャビテーションに対する対称円弧翼形状の影響を調べた結果を下記のようにまとめることができる。

1) 対称円弧翼のキャビテーション発生は比較的厚弦比の小さい翼のみ第I種キャビテーションが発生し、迎え角により著しい影響をうける。一方第II, III種キャビテーションは迎え角の影響をあまりうけない。

2) 対称円弧翼と欠円翼のキャビテーション発生は総体的に類似している。

3) K_{130} は α によってほとんど影響されない。

4) K_{130} は次の実験式を用いてまとめられる。

$$K_{130} = -C_{p0} + \frac{A_0}{v^2}, \quad K_{130} = -C_{p\min} + \frac{A}{v^2}$$

5) $K_{130} \cdot l/t$ という無次元数は、流速が一定ならば翼厚によらず、ほぼ一定値をとる。スーパーキャビテーションをまとめるのに有効であると思われる。

終りに、実験、計算に多大の協力を頂いた当時学生の鶴岡政則君に感謝の意を表します。また計算の便宜を計って頂いた室蘭工業大学電子計算機室の各位に深く感謝いたします。

(昭46. 5. 20受理)

文 献

- 1) 奥田・山本・一場：室蘭工業大学研究報告, 6 (3), 897 (昭40).
- 2) J. W. Holl & G. F. Wislicenus: Trans. ASME, Vol. 83, 1961, p. 385.
- 3) J. W. Holl: Trans. ASME, Vol. 82, 1960, p. 941.
- 4) 沼知福三郎：東北大学高速力学研究所報告, 第18巻 (第177号), 147頁.