船用推進器計畫に於ける Helmbold 氏法の簡單化 竝に一二の補充

正員 平 澤 次 郎

Abstract.

Simplification of Helmbold's Method on Marine Screw Propeller Design
with a Few Supplementary Notes.

By Jiro Hirasawa, *Member*.

The method of calculation regarding the elements of a screw propeller was published by Dr. Helmbold and simplified by Dr. Lerbs according to Betz-Prandtl's vortex theory, and Dr. Shigemitsu also gave descriptions on similar lines. These methods require complex calculations notwithstanding the insufficient accuracy of results, and are considered not to be fully adaptable to the phenomena on marine propellers. This paper deals with the method of the first named author modified to suit application to the marine propellers in a more simplified process, and supplemented with some studies made by the writer.

In such cases as when the sizes of the propeller hub of the built-up type are considerably large as not to be neglected, the correction factors are shown in fig. 6 for the thrust coefficient and fig. 8 for the torque coefficient. Fig. 9 is drawn to determine easily λ and b_0 when C_{sh} and k_{ah} are given, and $Cag \cdot t$ found by use of figs. 12 and 13 and an equation, $Cag \cdot t = K \cdot r \cdot M$. With regard to the effect of the centrifugal force, figs. 10 and 11 and a simple equation, $b'' = b \left(1 + \frac{A}{B} \right)$ will be applicable.

The wake variation within the region of the propeller disc can be reasonably treated with the centrifugal force by employing the equations, $\tan \beta_r'' = \frac{v_r - v}{r\omega} + b''$ and $Ca \cdot t = \frac{\cos \beta_r''}{\cos \beta} \cdot \frac{Cag \cdot t}{Ka}$, where Ka is known by Numachi's curve. Finally, the pitch angle of each blade section is the algebraic sum of β_r'' and incidence angle.

The calculation curves and simple equations above-mentioned may be very convenient and useful for practical engineers to design marine propellers.

1. 前 置

Perring⁽¹⁾氏は 1928 年に推進器計畫に渦流理論を應用すべき事を提唱して居るが、氏の論文内容は Glauert⁽²⁾氏が航空推進器に就て記載して居る域を出ないと見得る。一方獨逸では之より早く此の問題に着眼し、先づ Prandtl 氏竝に Betz 氏等が船用推進器の基本的事項を理論的に研究した事は有名である。兩氏の理論に立脚して Horn 氏及 Helmbold 氏が各自別個に之が計畫法を發表して居る。Horn⁽³⁾氏は open water に適する推進器直徑、回轉數竝に推進器效率との關係を線圖に依り示し我々に益する所が多いが、Helmbold 氏が扱つた遠心力を無視し且つ推進效率に言及して居ない。直徑、回轉數並に推進效率との關係に就ては D. W. Taylor⁽⁴⁾氏の實驗結果に依ると毎分回轉數は大體 85 乃至 100 が良く、直徑は小に過ぎるもの稍悪く大に過ぎるものは推進效率に於て約 5 % 低き事が知られる。即ち直徑竝に回轉數は船體の形狀、船速度、主機械の性質等に依り決定せらるべきを意味する。結局回轉數は主機械に應じて、直徑は吃水の程度に依り、或程度制限せられるが、最大推進效率を與ふべき之等の理論的決定法は將來に俟つべき重大なる問題である。

Helmbold⁽⁵⁾氏は直徑及回轉數が與へられたる場合を扱い、遠心力を考慮に入れた特徴を有するが、極めて複雑なる計算を必要とし、遺憾ながら我々實際家の用に適せない。最近 Lerbs⁽⁶⁾氏が Helmbold 氏法の簡易化を試みたが氏の與へた λ と b_0 を求むる曲線圖も其使用上未だ其複雑さを除かず $Ca \cdot t$ を求むる曲線圖は 10 吋の計算尺の正確度を保つ爲には非常に大なる圖を必要とする等不滿の點がある。我國での文獻には重光博士⁽⁷⁾の論文がある。博士は他の諸氏の言及して居ない推進器圓板内の伴流變化を取扱い、且つ最大效率に關し Betz 氏の説く所に根據を置かない特徴がある。然し之の方法も複雑さに於て Helmbold 氏と同程度の缺點があると共に Horn 氏の如く遠心力を無視して居る。筆者は斯の如き複雑なる計算法から脱出して實際家の便を期すべく Helmbold 氏の方法を總て曲線圖を與へて更に簡單化し、計算の誤差を小とし、大なる較比に就ての修正率を考へ、且つ推進器圓板内の伴流變化に對する處置法をも示した。

(1) W. G. A. Perring: Shipbuilder, May, 1928.

(2) H. Glauert: The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory.

(3) F. Horn: Versuche mit Tragflügel-Schiffsschrauben, Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 1927.

(4) D. W. Taylor: Variation of Efficiency of Propulsion with Variation of Propeller Diameter and Revolutions. Shipbuilder and Shipping Record, March, 1931.

(5) H. B. Helmbold: Die Betz-Prandtl'sche Wirbeltheorie der Treibschraube und ihre Ausgestaltung zum technischen Berechnungsverfahren. W. R. H. 1926, Heft 23 und 24.

(6) H. Lerbs: Kurventafeln zur Berechnung starkbelasteter Freifahrtsschrauben nach der Tragflügeltheorie. W. R. H. 1933, Heft 3.

(7) 重光 族: 推進器の設計に就て。逓信省管船局船舶試驗所船型試驗報告第一號。

2. 使用する符號竝に式

C_a = 入射角 α の時の aerofoil の揚力係數

$$= \frac{A}{\frac{\rho}{2} v^2 F}$$

C_{ag} = aerofoil grate を形成する aerofoil の揚力係數

$$= K_a \cdot C_a$$

K_a = 沼知博士⁽⁸⁾の與ふる相互干涉に負ふた係數

C_w = 入射角 α の時の aerofoil の profile 抗力係數

$$\varepsilon' = \frac{C_w}{C_a}$$

$\varepsilon = \varepsilon'$ 及他の條件に負ふ率

v = 前進速度 (半徑の 0.7 の點に於ける)

v_r = 任意半徑に於ける前進速度

D = 推進器直徑

$$= 2R$$

r = 任意翼 element に至る半徑

r_1 = 無限數の翼を有する equivalent propeller の半徑

$\xi = L$. Prandtl⁽⁹⁾氏の與ふる比

$$= \frac{R}{r_1} = 1 / \left\{ 1 - \frac{1.383}{z} \cdot \frac{b_0}{\sqrt{1+b_0^2}} \right\}$$

n = 回轉數

ω = 角速度

$$= 2\pi n$$

$$\lambda = \frac{v}{\omega R}$$

z = 翼の數

t = 翼 element の弦長 (幅)

β = 半徑 r に於ける翼 element の hydrodynamic inclination

$$b = \tan \beta$$

w_n = 無限距離に於ける誘導速度

$w_t = w_n$ の切線分速度

$$w = \frac{w_n}{\cos \beta}$$

dS = 翼 element 上の推力

dT = 翼 element 上の回轉力

S = 全推力

$$\rho = \text{液體の密度 (海水に對しては } 104 \frac{K_g - \text{sec}^2}{m^4})$$

⁽⁸⁾ F. Numachi: Aerofoil Theory of Propeller Turbines and Propeller Pumps with Special Reference to the Effects of Blade Interference upon the Lift and the Cavitation. 機械學會誌第 136 號。

⁽⁹⁾ L. Prandtl und A. Betz: Vier Abhandlungen zur Hydrodynamik und Aerodynamik.

$$\vartheta = \frac{w}{v}$$

C_{sh} = 推力係数

$$\begin{aligned} &= \frac{8S}{\pi \rho v^2 D^2} \\ &= \frac{0.02449S}{v^2 D^2} \quad (\text{海水に對して}) \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

k_{ah} = 回轉力係数

$$\begin{aligned} &= \frac{8N_1}{\pi^4 \rho n^3 D^5} \\ &= \frac{7.897 N_1}{10^4 n^3 D^5} \quad (\text{海水に對して}) \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

N_1 = 推進器の absorbed power.

y_h = 載比

$$= \frac{r_h}{R}$$

r_h = 載の半徑

η = 效率

尚 C_s , k_a は夫々 C_{sh} , k_{ah} に於て載を無視したもので、 dS , dT , S , η , C_s に於て suffix に 0 を附せるは profile 抗力を無視した場合、 b , β の suffix 0 は tip に於けるもの、 b の suffix 1 は無限翼数の equivalent propeller の tip に於ける場合である。

$$K = \frac{2}{z\pi} \cos^{-1} e^{-\frac{z}{2} \cdot \frac{R-r}{r} \cdot \frac{\sqrt{1+b_0^2}}{b_0}}$$

本式は Prandtl⁽¹⁰⁾氏の與ふる翼端に於ける揚力及 circulation の降下率を便宜上 z にて割れるもので fig. 12 に其値が示されてある。以下は主に Helmholtz 氏の論文⁽¹¹⁾中にある。元來 Helmholtz 氏の方法は w を半徑上に於て變化せしめない時に推進器は最大效率を示すと言ふ Betz⁽¹²⁾氏の説に立脚して居る。

$$b_0 = \frac{v + \frac{w}{2}}{R \cdot \omega} = \lambda \left(1 + \frac{\vartheta}{2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$b_1 = \xi \cdot b_0 \dots\dots\dots (4)$$

抗力を無視した所謂 frictionless propeller の場合

$$S_0 = \frac{\rho}{2} \pi v^3 r_1^2 \vartheta \left[2\varphi + \vartheta \left(2\varphi - \frac{1}{1+b_1^2} \right) \right] \dots\dots\dots (5)$$

此處に
$$\varphi = 1 - b_1^2 \log \left(1 + \frac{1}{b_1^2} \right)$$

⁽¹⁰⁾ (9) 参照

⁽¹¹⁾ (10) 参照

⁽¹²⁾ (11) 参照

$$C_{s0} = \frac{\vartheta}{\xi^2} \left[2\varphi + \vartheta \left(2\varphi - \frac{1}{1+b_1^2} \right) \right] \dots\dots\dots (6)$$

$$\eta_0 = \frac{vS_0}{w \int_0^{r_1} r dT_0} = \frac{vS_0}{w \int_0^{r_1} br dS_0} = \frac{\lambda}{t_0} \dots\dots\dots (7)$$

抗力を考へに入れた場合 (但し ε は一定)

$$C_s = C_{s0}(1-2\varepsilon t_0) = \frac{\vartheta}{\xi^2} \left[2\varphi + \vartheta \left(2\varphi - \frac{1}{1+b_1^2} \right) \right] (1-2\varepsilon t_0) \dots\dots\dots (8)$$

効率に関する式

$$\eta = \frac{C_{sh}}{k_{ah}} \cdot \lambda^3 \dots\dots\dots (9)$$

翼巾に関する式

$$C_{aj} \cdot t = 8\pi R \cdot K \cdot \frac{(b_0 - \lambda)b_0 \frac{R}{r}}{\left[1 + \lambda b_0 \left(\frac{R}{r} \right) \right] \sqrt{1 + b_0^2 \left(\frac{R}{r} \right)^2}} \dots\dots\dots (10)$$

遠心力に関する式

Helmbold 氏は遠心力に関する計算に推進器を圍む面即ち推進器圓板と平行な二平面と一圓筒を考へて居る。之の面に掛る壓力 P は

$$P = - \int_0^{r_1} \Delta P_\infty \cdot 2\pi r dr$$

$$\text{此處に} \quad \Delta P_\infty = \int_r^{r_1} \rho \frac{w_t^2}{r} dr = \frac{\rho}{2} w^2 \left(- \frac{b_1^2}{1+b_1^2} + \frac{(b r_1)^2}{(b r_1)^2 + r^2} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{即ち} \quad P = - \pi \rho w^2 \left[\frac{(b r_1)^2}{2} \log(r^2 + b_1^2 r_1^2) - \frac{b_1^2}{1+b_1^2} \cdot \frac{r^2}{2} \right]_0^{r_1} \dots\dots\dots (12)$$

$$= \frac{\rho}{2} v^2 \pi r_1^2 \vartheta^2 \left(\varphi - \frac{1}{1+b_1^2} \right)$$

遠心力の爲、修正せられたる hydrodynamic inclination の正切は

$$b'' = b \cdot \left(1 + \frac{\Delta P_\infty}{\rho \left(\omega r - \frac{w_t}{2} \right) w_t} \right) \dots\dots\dots (13)$$

又効率

$$\eta = \frac{\lambda}{b_0} \cdot \frac{S_0}{S_0 - P} \cdot \frac{1 - 2\varepsilon b_0}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{b_0}}$$

$$= \frac{\lambda}{b_0} \cdot \frac{2\varphi + \vartheta \left(2\varphi - \frac{1}{1+b_1^2} \right)}{2\varphi + \vartheta\varphi} \cdot \frac{1-2\epsilon b_0}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\epsilon}{b_0}} \dots \dots \dots (14)$$

3. 翼断面の形状

現今の船用推進器計畫者は各自思ひ々々の翼形を採用して居るから、一律に論ずる事は出来ない。筆者は table 1 及び table 2 に示す 2 種を代表型として撰び、之に就て述べる事とする。table 2 即ち series B は形状の簡單と言ふ點に重きを置いて計畫されたものである。

元來我國に於ては船用推進器材料として多く優秀なる特種青銅を使用する爲、翼厚さは比較的薄いが Göttingen Profil 中には之に適合する data は極めて僅少なるが故に浦賀船渠會社が數年前前記 2 種翼に就き特に船用推進器翼としての風洞試験を航空研究所風洞部の和田教授に依頼したものである。此等 2 種翼に就ての試験結果は fig. 1 乃至 fig. 4 に示めてある。fig. 1, fig. 2 は C_a - α 線圖、fig. 3, fig. 4 は ϵ' - α 線圖で各線に附記した數字は camber ratio である。此の風洞試験に於ける風速は camber ratio 小なるものに對し 20.37 m/sec, 大に對し 30.76 m/sec の間で、模型の大きさは弦長 150 mm, aspect ratio 5 である。今 ϵ' - α 線圖に於て Horn⁽¹³⁾氏の所謂極少範圍の始まる點の ϵ' の値を採用すれば series A に於て camber ratio に従ひ α が $(-2^\circ \sim +2^\circ)$ 位を採用すべく、之に相應する ϵ' の値は $(0.03 \sim 0.084)$ であり、series B では同様 α が $(0 \sim +3^\circ)$, ϵ' が $(0.025 \sim 0.07)$ 位である。然し series B で此の値を採る時は揚力大で、實際上空洞現象の見地から不可である故 series A と同様 α を $(-2^\circ \sim +2^\circ)$ 位にするが妥當で、従つて ϵ' の値は $(0.04 \sim 0.08)$ 位である。元來 ϵ の値⁽¹⁴⁾は大家の意見が區々で Dr. Horn は 0.0225, Helmbold 氏は 0.037, G. Kempf 氏は 0.06, 重光博士は 0.055, Lerbs⁽¹⁵⁾氏は 0.025 として居る。何れも風洞試験の結果 ϵ' の値に多少の考慮を拂つたものである。結局計畫者は以下の條項に従ひ ϵ の値を適當に選定する必要がある。

1. ϵ' の値を基礎に置く
2. Reynold's number に應じて變へる
3. 沼知博士の與ふる K_a (大體 1.1 以上である) を利用する
4. 未知現象に對し實際經驗に基く推定の修正を加へる

4. 推進器圓板内の前進速度變化

船體の伴流は推進器圓板内の何れの點も其數値を異にし、其變化は甚だ複雑である。或一船體に就ても船速度に依つて等速曲線の模様は變はり、異なる船體には異なる等速曲線を示す事は當然で

(13) (3) 参照

(14) (7) 参照

(15) (6) 参照

Table 1. 翼断面 series A

Height	g	r_1	a_1	a_2	b_1	b_2	C_1	C_2	d	e	f	r_2	
Position	0	—	10	10	20	20	30	30	40	60	80	—	
Profile	0.04	2.40	0.70	3.80	1.10	4.10	0.60	4.25	0.30	4.00	3.17	2.32	0.70
	0.06	3.45	0.70	5.66	1.51	6.18	0.75	6.30	0.32	6.00	4.78	3.13	..
	0.08	4.52	0.81	7.50	1.93	8.18	0.92	8.30	0.38	8.00	6.39	3.97	..
	0.10	5.62	1.08	9.30	2.37	10.13	1.11	10.27	0.45	10.00	8.00	4.80	..
	0.12	6.82	1.40	11.12	2.80	12.12	1.35	12.28	0.52	12.00	9.58	5.65	..
	0.14	8.07	1.80	13.01	3.27	14.27	1.60	14.38	0.61	14.00	11.18	6.53	..
	0.16	9.30	2.20	15.00	3.73	16.46	1.85	16.58	0.70	16.00	12.80	7.44	..
	0.18	10.56	2.60	16.99	4.20	18.62	2.11	18.80	0.81	18.00	14.40	8.35	..

数字..翼弦, 百分比

Table 2. 翼断面 series B

Height		r_1	a	b	c	r_2
Position		—	10 ⁸ 70	20 ⁸ 50	33	—
Profile	0.04	0.70	3.18	3.90	4.00	0.7
	0.06	0.70	4.24	5.60	6.00	..
	0.08	0.81	5.52	7.55	8.00	..
	0.10	1.08	7.05	9.51	10.00	..
	0.12	1.40	8.53	11.38	12.00	..
	0.14	1.80	10.00	13.22	14.00	..
	0.16	2.20	11.40	15.00	16.00	..
	0.18	2.60	12.81	16.77	18.00	..

数字..翼弦, 百分比

fig. 1. C_a - α curve for series A fig. 2. C_a - α curve for series B fig. 3. E' - α curve for series A fig. 4. E' - α curve for series B

である。故に伴流の變化を或式に示す事は不可能事であるが、珍しい文獻として G. S. Baker⁽¹⁶⁾氏が單螺旋船に就て伴流の變化の法則を示して居る。之を曲線に示めたものは fig. 5 である。併し之は大體の傾向を知るに止るもので、實際には實驗の結果に俟たねばならぬ。

推進器計畫に Helmbold 氏の方法を適用するには先づ翼の根元より尖端に渡つて前進速度に變化なきものと假定しなければならぬ。一般には $0.7 R$ の位置の前進速度 v を以て代表せしめて居る。任意半径に於ける前進速度 v_r は v と異なり、 v に對し β である hydrodynamic inclination は β_r となるとする。

$$\tan \beta_r = \frac{v_r + \frac{v}{2}}{r\omega}$$

β_r の時 $C_{a,r}t$ に對する修正率は $\frac{\cos \beta_r}{\cos \beta}$ である。之は此の半径 r に於て前進速度と推力が frictionless propeller の時 v 及び dS_0 であつたものが、前進速度が實際 v_r であつても dS_0 は一定である條件に依り導ける。

5. 推進器 轂 に 就 て

$$S_0 = \int_0^{r_1} dS_0$$

式 (5) は本式の如く積分界限が 0 より r_1 の時のもので、轂の部分まで積分して居る故式 (6) を其儘使用するは航空推進器と異なり、船用組立推進器の如き轂の比較的大なるものに對しては其誤差相當大である。

$$H_1 = \frac{\int_0^{r_h} dS_0}{\int_0^{r_1} dS_0} = \frac{y_h^2 \xi^2 \left[2\varphi_h + \vartheta \left(2\varphi_h - \frac{1}{1+b_h^2} \right) \right]}{\left[2\varphi + \vartheta \left(2\varphi - \frac{1}{1+b_l^2} \right) \right]}$$

fig. 5. wake curve

⁽¹⁶⁾ G. S. Baker: The Analysis of Screw Propeller Efficiency, with Particular Reference to Froude's Method. Shipbuilder, 1927, No. 204

fig. 6a. H_1 - y_h curve fig. 6b. H_1 - y_h curve

此處に

$$\varphi_h = 1 - b_h^2 \log \left(1 + \frac{1}{b_i^2} \right)$$

$$b_h = \frac{b_0}{y_h}$$

本式に於て $\varphi = 0.8$ としての $(H_1 - y_h)$ 線圖は fig. 6 である。式 (8) に之の修正を加へると

$$\begin{aligned} C_{sh} &= C_s(1 - H_1) \\ &= \frac{\varphi}{\xi^2} \left\{ 2\varphi + \varphi \left(2\varphi - \frac{1}{1 + b_i^2} \right) \right\} (1 - 2\epsilon b_0)(1 - H_1) \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

fig. (6) に於て $\varphi = 0.8$ としたが、 φ の變化に依り C_{sh} の値に對する誤差は 0.1 % 未滿である。

又效率に就ては (7) 式及び (3) 式を應用し

$$\eta_h = \frac{v \int_{r_h}^{r_1} dS_0}{w \int_{r_h}^{r_1} r dT_0} = \frac{v \int_{r_h}^{r_1} dS_0}{w \int_{r_h}^{r_1} b r dS_0} = \frac{v}{v + \frac{w}{2}} = \eta_0$$

即ち遠心力を考へない場合、轂の存在は frictionless propeller の效率に影響を及ぼさない。效率への遠心力の影響は Helmholtz 氏が與へて居るが轂の存在の爲、如何に之を修正すべきかを次に考へやう。式 (12) に於て積分界限を 0 より r_1 及び 0 より r_h に取れば即ち

$$P_{0 \rightarrow r_1} = \frac{\rho}{2} \pi v^2 r_1^2 \varphi^2 \left\{ \varphi - \frac{1}{1 + b_i^2} \right\}$$

$$P_{0 \rightarrow r_h} = \frac{\rho}{2} \pi v^2 r_1^2 b_i^2 \varphi^2 \left\{ \frac{\xi^2 y_h^2}{1 + b_i^2} - \log \left(1 + \frac{\xi^2 y_h^2}{b_i^2} \right) \right\}$$

今

$$\eta_0 = \frac{\lambda}{b_0} \cdot \frac{S_0}{(S_0 - P)(1 - H_c)}$$

と置けば式 (5) に依り

$$H_c = \frac{-P_{0 \rightarrow r_h}}{S_0 - P}$$

$$= \frac{\xi^2 b_0^2 \vartheta \left\{ \log \left(1 + \frac{y_h^2}{b_0^2} \right) - \frac{\xi^2 y_h^2}{1 + \xi^2 b_0^2} \right\}}{2\varphi + \vartheta\varphi}$$

本式に依り $H_c - y_h$ 線圖を畫けば fig. 7 である。此處に $\vartheta = 0.8$ としたが ϑ の値が變化しても實際上誤差は 1% を越さぬ。fig. 6a 及び fig. 7a は $z=4$, fig. 6b, fig. 7b は $z=3$ の場合である。式 (14) は

fig. 7a. $H_c - y_h$ curve

fig. 7b. $H_c - y_h$ curve

$$\eta = \frac{\lambda}{b_0} \cdot \frac{2\varphi + \vartheta \left(2\varphi - \frac{1}{1+b_1^2} \right)}{(2\varphi + \vartheta\varphi)(1-H_c)} \cdot \frac{1-2\varepsilon b_0}{1 + \frac{2}{3} \frac{\varepsilon}{b_0}} \dots \dots \dots (16)$$

6. $b_0 - \lambda$ 線圖竝に遠心力に関する線圖

式 (9), (15), (16) の 3 式より C_{sh} , η を消去せば

$$k_{ah} = \frac{\vartheta b_0 \lambda^2 \varphi}{\xi^2} (2 + \vartheta) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{\varepsilon}{b_0} \right) (1 - H_c)(1 - H_1)$$

今 $H_2 = 1 - (1 - H_c)(1 - H_1)$ とせば

$$k_{ah} = \frac{\vartheta b_0 \lambda^2 \varphi}{\xi^2} (2 + \vartheta) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{\varepsilon}{b_0} \right) (1 - H_2) \dots \dots \dots (17)$$

式 (15) 及び式 (17) に $\vartheta = 2 \left(\frac{b_0 - \lambda}{\lambda} \right)$ 及び式 (4) を入れて變形せば

$$C_s = \frac{C_{sh}}{1 - H_1} = \frac{4(b_0 - \lambda)}{\xi^2 \lambda^2} \left[\varphi(b_0 - \lambda) - \frac{b_0 - \lambda}{1 + \xi^2 b_0^2} \right] (1 - 2\varepsilon b_0) \dots \dots \dots (18)$$

$$k_a = \frac{k_{ah}}{1 - H_2} = \frac{4(b_0 - \lambda)b_0^2 \varphi}{\xi^2} \left(1 + \frac{2}{3} \frac{\varepsilon}{b_0} \right) \dots \dots \dots (19)$$

H_2 の値は fig. 8 に示してある。fig. 8a は $z=4$, fig. 8b は $z=3$ の場合で、之も $\vartheta=0.8$ とした値であるが實際上誤差は 1% 未滿である。 ε を一定とし、式 (18) 及び (19) により $\lambda - b_0$ 線圖を畫けば fig. 9 であり、fig. 9a は $z=4$, fig. 9b は $z=3$ に對するものである。此處に $\varepsilon=0.025$ としたが、

fig. 8a. $H_2 - y_h$ curve fig. 8b. $H_2 - y_h$ curve fig. 9a. $\lambda - b_0$ curves

fig. 9b. $\lambda - b_0$ curves

ϵ の値が異なる場合は

$$\Delta\epsilon = 0.025 - \epsilon \dots\dots\dots (20)$$

とすれば

$$C_s(1 - 2 \cdot \Delta\epsilon \cdot b_0)$$

$$k_d \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta\epsilon}{b_0} \right)$$

-fig. 11. B-g curves

-fig. 10. A-b curves

なる 2 個の數値を夫々 fig. 9 の C_s 及 ka に代用すれば宜しい。

次に遠心力の影響に關する式であるが式 (11) を誘導せる場合に

$$w_t = w \frac{b_0 R r}{b_0^2 R^2 + r^2}$$

と置き、積分界限の r_1 の代りに R とすると式 (11) は次式になる。

$$\Delta P_\infty = \frac{\rho}{2} w^2 \left(-\frac{b_0^2}{1+b_0^2} + \frac{b_0^2 R^2}{b_0^2 R^2 + r^2} \right)$$

従つて式 (13) に於て

$$A = \left(b_0 \frac{R}{r} \right)^2 + \frac{b_0^2}{1+b_0^2} \left\{ 1 + \left(b_0 \frac{R}{r} \right)^2 \right\}$$

$$B = \frac{2}{\vartheta} + \frac{1}{1 + \left(b_0 \frac{R}{r} \right)^2}$$

と置けば

$$b'' = b \left(1 + \frac{A}{B} \right) \dots \dots \dots (21)$$

となる。 A 及び B の値は夫々 fig. 10 及び fig. 11 に圖示されて居る。此處に b'' は遠心力に依り修正せられたる任意半徑に於ける hydrodynamic inclination β'' の正切である。

7. 翼幅、入射角竝に推進器節

式 (10) は

$$C_{ag} \cdot t = K \cdot r \cdot M \dots \dots \dots (22)$$

此處に

$$M = \frac{8\pi \left[b_0 \frac{R}{r} - \lambda \frac{R}{r} \right] \cdot b_0 \frac{R}{r}}{\left[1 + \left(\lambda \frac{R}{r} \right) \left(b_0 \frac{R}{r} \right) \right] \sqrt{1 + \left(b_0 \frac{R}{r} \right)^2}}$$

本式に依れば $\lambda \frac{R}{r}$ を一定として $M - b_0 \frac{R}{r}$ 線圖を畫く事が出来る。即ち fig. 13 が夫である。 K も又 fig. 12 に圖示してある。fig. 12a は $z=4$, fig. 12b は $z=3$ の場合である。依つて容易に $C_{ag} \cdot t$ を求め得る。 b は遠心力の影響と前進速度 v_r が平均前進速度 v と差異ある事に依り變化しなければならぬ。故に最後に得る hydrodynamic inclination の正切は

$$b_r'' = \tan \beta_r''$$

fig. 12a. $r/R - K$ curves fig. 12b. $r/R - K$ curves

fig. 13. $M-b$ curves.

$$= \frac{v_r - v}{r\omega} + b'' \dots \dots \dots (23)$$

であり。従つて $C_{ag} \cdot t$ に對する修正率は 4 節に述べた理由から

$$\frac{\cos \beta_r''}{\cos \beta}$$

となる。

$$C_a \cdot t = \frac{\cos \beta_r''}{\cos \beta} \cdot \frac{C_{ag} \cdot t}{K_a} \dots \dots \dots (24)$$

此の $C_a \cdot t$ が最後のものである。但し K_a は沼知博士の與ふる曲線圖に依り知らる。又 C_a は

fig. 1 又は fig. 2 に依るものであるから、翼幅 t 竝に入射角 α を定め得る。然し此の場合空洞現象⁽¹⁷⁾と翼強さ⁽¹⁸⁾に就て考慮を拂ふべきは勿論である。

任意半径 r に於ける推進器節 p は

$$p = 2\pi r \tan(\beta_r'' + \alpha) \dots\dots\dots (25)$$

8. 例 題

$$N_1 = 288,700 \frac{K_g - m}{\text{sec}}$$

$$n = 1.885/\text{sec}$$

$$z = 4$$

$$v_0 = \text{船速度} = 7.05 \frac{m}{\text{sec}}$$

$$D = 4.8 m$$

$$\text{翼断面の形状} = \text{series A}$$

$$v = 4.618 \frac{m}{\text{sec}} \quad (0.7 R \text{ に於ける前進係数は } 0.655)$$

模型試験で知られる E.H.P., 平均伴流係数及び推力減少率から

$$S = 1,760 \times v^2$$

以上が與へられ且つ推進器半径と前進係数 a との関係が知られて居る時は次の如く計算を進める。

$$C_{sh} = 1.765 \quad \text{式 (1) による}$$

$$k_{ah} = 0.01338 \quad \text{式 (2) による}$$

概比 = 0.238, $b_0 = 0.25$ と假定すれば fig. 6a, fig. 7a 又は fig. 8a から

$$H_1 = 0.024 \quad H_2 = 0.0375$$

従つて

$$C_s = \frac{C_{sh}}{1 - H_1} = 1.809 \quad \text{式 (18) による}$$

$$k_a = \frac{k_{ah}}{1 - H_2} = \frac{k_{ah}}{(1 - H_1)(1 - H_2)} = 0.0139 \quad \text{式 (19) による}$$

又 $\epsilon = 0.02$ とすれば式 (20) に依り $\Delta\epsilon = 0.005$ であるから

$$C_s(1 - 2 \cdot \Delta\epsilon \cdot b_0) = 1.804$$

$$k_a \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta\epsilon}{b_0} \right) = 0.01408$$

此の 2 個の数値を以て fig. 9a より

$$b_0 = 0.246$$

$$\lambda = 0.166$$

⁽¹⁷⁾ G. Kempf und E. Foerster: Hydromechanische Probleme des Schiffsantriebs 中にある Walchner 氏の論文は良き参考とならる。

⁽¹⁸⁾ D.W. Taylor: The Speed and Power of Ship, 1933. は良参考であらう。

Table 3

Notation	r	$\frac{r}{R}$	b	$\lambda \frac{R}{P}$	$\cos \beta$	M	K	C_{ag}	A	B	b^*	a	v_r	r_w	$\tan \beta_r$	β_r	$\cos \beta_r$	$\frac{\cos \beta_r}{\cos \beta}$	t	$\frac{2\pi r}{\omega}$	K_a	Cat	C_a	Camber	α	$\frac{b}{R}$	p
Formula and Fig. to be used						fig.13	fig.14	eq.123	fig.10	fig.11	eq.124	given			eq.123				assume			eq.124		assume	fig.1		eq.125
Numerical Value	2.935	.8875	.2765	.1866	.9639	.577	.1855	.228	.020	2.99	.2985	.699	5.032	2523	.2909	16°43'	.9662	.996	.800	4.19	1.040	.249	.273	.0465	1°39'	.3223	4.124
	4.830	.7625	.3226	.2178	.9517	.760	.2280	.317	.042	2.97	.3270	.669	4.817	21.66	.3316	15°21'	.9452	.997	.950	3.02	1.079	.293	.308	.0653	1°36'	.3670	4.194
	1525	.6355	.3872	.2612	.9325	1.040	.2433	.386	.082	2.94	.3981	.639	4.600	18.05	.3316	21°23'	.9312	.998	.985	2.43	1.122	.343	.348	.0873	33'	.4020	1.859
	4.320	.5082	.4840	.3266	.9001	1.495	.2478	.452	.160	2.88	.5115	.607	4.370	14.44	.4374	25°59'	.8989	.999	.990	1.935	1.160	.382	.373	.1121	-6'	.4752	3.719
	.915	.383	.6425	.4337	.8414	2.227	.2490	.507	.325	2.78	.7183	.538	4.018	10.83	.6536	33°10'	.8371	.995	.965	1.489	1.148	.426	.441	.1399	-42'	.6799	3.667
	.610	.2543	.9675	.6527	.7187	3.390	.2495	.516	.820	2.60	1.2745	.493	3.549	7.22	1.4697	47°59'	.6653	.931	.900	1.045	.950	.489	.543	.1767	-1°33'	1.0513	4.029

従つて $v = \pi n D \lambda = 4.718 \frac{m}{sec}$ } 達し得べき速度
 $v_0 = 7.2 \frac{m}{sec}$

$\eta = 0.604$ 式 (9) による

$$\vartheta = 2 \left(\frac{b_0 - \lambda}{\lambda} \right) = 0.914$$

以下の計算は table 3 にある。

最後に $C_{ag} = K_a C_a$ を以て空洞現象に就て確める必要がある。

本文に對し御注意下された先輩山縣昌夫氏に感謝します。

討

論

○會長代理(湊 一磨君) 唯今の御講演に對し御質問又は御意見のある方は御述べを願ひます。

○重光 藤君 御講演の中に私の名前も出たので一言所感を申し上げます。私は兩三年來此の問題に touch する事が出来ない事情にあつたので、最近此の方面の進歩には時代遅れの事を申上げるかも知れません。平澤君が Helmbold 氏の方法を簡單化し、更に二三附加へられたのは大變結構で、之を私共の方で實際に當嵌めて見ましたところ良く出て来る様に聞いて居ります。之は御願ひするのが無理かも知れぬが、推進器の所の水の速さを constant と考へて設計するのは造船所としては止むを得ない事かも知れませんが、更に propulsion の efficiency を良くし實際船に適切な propeller を定めるとは、其水の流れ如何に依り推進器の形を design する事が improvement の一方法と思はれる。私共の行りました時代には其點を主として居りました。之は tank test の出来る所は結構ですが、そうでなくても發表された水槽試験の data を參考されて design されると宜いと考へて居ります。

○會長代理(湊 一磨君) 他に御發言はありませぬか。御發言の方が御座いませぬならば、簡單に御挨拶を申述べます。平澤君の論文は、重光博士も述べられた通り、面倒な Helmbold の式を curve に表はして簡單化し、且多少の修正を加へて一層正確を期せられたものでありまして、實際上

誠に便利であり且有益な事と思ひます。尙重光博士の御注意の點も考慮に入れられたならば一層適切であると思ひます。御講演に對し諸君と共に拍手を以て御禮を申上げ度いと思ひます。(一同拍手)