(昭和 24 年 11 月 造船協会秋季講演会に於て講演)

単螺旋船の推力減少率について

正員 工学士 松 藤 竜 一 郎*

Abstract.

On the Thrust Deduction Coefficient of the Single Screw Ship.

By Ryuichiro Matsufuji, *Kogakushi, Member.*

In order to find the means of improving the hull efficiency of the single screw ship, a method is proposed to calculate theoretically the thrust deduction coefficient. Principal assumptions being ; (i) the hull is the cylinder with vertical generating lines, (ii) the induced velocity caused by the propeller is obtained by the doublets uniformly distributed over the propeller disk.

If the water plane shape is represented by the third power series of the distance from the propeller, the thrust deduction coefficient is to be computed by the following formula.

$$t = \frac{1}{\pi(\sqrt{c_s+1}+1)} \left\{ 2 \left(\frac{2\alpha}{1-w} + \sqrt{c_s+1} - 1 \right) \left(\frac{y_1}{R} - I_1 \right) - (\sqrt{c_s+1} - 1) I_2 \right\}$$

where, c_s : the thrust loading coefficient, α : the effective velocity factor along the surface of run, y_1 : a half maximum breadth of the hull, R : the radius of the propeller, I_1, I_2 : the function of the hull shape only. Provided that c_s is not too large, the above formula can be approximated by

$$t = \frac{4\alpha}{\pi(\sqrt{C_s+1}+1)(1-w)} \left(\frac{y_1}{R} - I_1 \right)$$

The principal conclusions are following:—

1. t grows smaller as w, c_s, ϵ_0 (the angle of run) or the propeller immersion grows smaller.
2. t grows smaller as the Reynolds' number or the clearance between the propeller and the stern frame grows larger.
3. The hull efficiency grows larger as the Reynolds' number or t due to the hull shape grows smaller.
4. The most practical and effective means to improve the hull efficiency is to reduce the angle of run or to widen the clearance between the propeller and the stern frame.

§1. 基 礎 式

単螺旋船の推力減少率を理論的に求めて、プロペラ及び船型の種々の要素の影響を検討して、hull efficiency 向上の一助とする目的をもつて計算を行つた。推力減少率は非常に複雑な現象によつて生ずるから、厳密な解を求めることは困難であるため、なるべく簡単化した現象について端的に実用計算ができることを目途として、次の方針の下に考察することにする。

- (i) 船型は垂直母線を有する cylinder とする。
- (ii) プロペラによる誘導速度はプロペラ面に一様に分布された二重吸込によつて求める⁽¹⁾。
- (iii) 船体のないときのプロペラ中心線上に生ずる誘導速度が、そのままプロペラ面から進行方向に並行に測つた距離が、同一の船体表面上の一点に作用するものとする。
- (iv) 波の影響は考えない。

船体後端 x_0 を境にして、その前後について速度及び静圧分布を別々に考える。基準になる速度は x_0 より前

* 三菱長崎造船所参事

(1) C. Koning: Influence of the propeller on other parts of the airplane structure, Division M. Vol. IV. Aerodynamic Theory (W. F. Durand)

方においては u_s , 後方においては v_p であつて, 両者は下式で関係付けられる。

$$v_p = v_s(1-w) \quad (1)$$

今船体後部表面のプロペラなしのときの有効速度を一定と見て

$$v_0 = \alpha v_s \quad (2)$$

とおく。この α は最後に計算値と実験値とが一致する様に決めることにする。プロペラによる誘導静圧力は

第 1 図

$$P_i = \frac{1}{2} \rho \{ (v_0 + v_i)^2 - v_0^2 \} = \rho v_0 v_i + \frac{1}{2} \rho v_i^2 \quad (3)$$

Koning の論文を参照して

$$v_i = \frac{1}{2} v_{i\infty} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right) \quad (4)$$

(1), (2), (4) を (3) に代入して

$$P_i = \frac{\rho \alpha v_p v_{i\infty}}{2(1-w)} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right) + \frac{1}{8} \rho v_{i\infty}^2 \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \right)^2 \quad (5)$$

P_i を積分して減少推力を求めればよいが, 積分の範囲は x は x_0 から x_1 まででよい。それより前方は component が零になるか, 又はプロペラからの距離が遠くなつて考慮する必要がない。又 z は $\pm R$ の範囲をとる。

第 2 図を参照して減少推力は

$$\begin{aligned} -\Delta T &= 2 \int_{-R}^R dz \int_{x_0}^{x_1} P_i \sin \varepsilon \cdot \frac{dx}{\cos \varepsilon} \\ &= 4 R \int_{x_0}^{x_1} P_i \frac{dy}{dx} dx \end{aligned}$$

(5), (6) から

第 2 図

$$-4T = \frac{2\rho\alpha R}{1-w} v_p v_{t\infty} \int_{x_0}^{x_1} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}\right) \frac{dy}{dx} dx + \frac{1}{2} \rho R v_{t\infty}^2 \int_{x_0}^{x_1} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}\right)^2 \frac{dy}{dx} dx \quad (7)$$

一方プロペラの運動量理論から

$$T = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho v_p v_{t\infty} \left(2 + \frac{v_{t\infty}}{v_p}\right) \quad (8)$$

$$\therefore C_s = \frac{v_{t\infty}}{v_p} \left(2 + \frac{v_{t\infty}}{v_p}\right)$$

これを解いて

$$\frac{v_{t\infty}}{v_p} = \sqrt{C_s + 1} - 1 \quad (9)$$

(9) を (8) に代入して

$$T = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho v_p v_{t\infty} (\sqrt{C_s + 1} + 1) \quad (10)$$

又 (9) を (7) に代入して

$$-4T = \rho R v_p v_{t\infty} \left\{ \frac{2\alpha}{1-w} \int_{x_0}^{x_1} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}\right) \frac{dy}{dx} dx + \frac{1}{2} (\sqrt{C_s + 1} - 1) \int_{x_0}^{x_1} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}\right)^2 \frac{dy}{dx} dx \right\} \quad (11)$$

(10), (11) から

$$t = \frac{-4T}{T} = \frac{2}{\pi R (\sqrt{C_s + 1} + 1)} \left\{ \frac{2\alpha}{1-w} \int_{x_0}^{x_1} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}\right) \frac{dy}{dx} dx + \frac{1}{2} (\sqrt{C_s + 1} - 1) \int_{x_0}^{x_1} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}\right)^2 \frac{dy}{dx} dx \right\} \quad (12)$$

変形して

$$t = \frac{1}{\pi (\sqrt{C_s + 1} + 1)} \left[2 \left(\frac{2\alpha}{1-w} + \sqrt{C_s + 1} - 1 \right) \left\{ \frac{y_1}{R} - \frac{1}{R} \int_{x_0}^{x_1} \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}} \frac{dy}{dx} dx \right\} - R (\sqrt{C_s + 1} - 1) \int_{x_0}^{x_1} \frac{1}{x^2 + R^2} \frac{dy}{dx} dx \right] \quad (13)$$

これが推力減少率を求める基礎式である。船型が決れば dy/dx が x の函数として与えられ、従つて (13) を積分することができる。

§ 2. 船体後部が x の 3 次式で与えられる場合の計算式

船体後部の水線面の形を下の 3 次式で表わす。

$$y_1 = C_1(x - x_0) + C_2(x - x_0)^2 + C_3(x - x_0)^3 \quad (14)$$

これに対して与えられる条件は

$$\left. \begin{aligned} x = x_0 & \quad \text{において} \quad dy/dx = \tan \varepsilon_0 \\ x = x_1 & \quad \quad \quad dy/dx = 0 \\ x = x_1 & \quad \quad \quad y = y_1 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

(14), (15) から

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= C_1 + 2C_2(x - x_0) + 3C_3(x - x_0)^2 \\ C_1 &= \tan \varepsilon_0 \\ C_2 &= \frac{3y_1 - 2(x_1 - x_0) \tan \varepsilon_0}{(x_1 - x_0)^2} \\ C_3 &= \frac{-2y_1 + (x_1 - x_0) \tan \varepsilon_0}{(x_1 - x_0)^3} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

(16) を (13) に代入して積分した結果は

$$t = \frac{1}{\pi (\sqrt{C_s + 1} + 1)} \left\{ 2 \left(\frac{2\alpha}{1-w} + \sqrt{C_s + 1} - 1 \right) \left(\frac{y_1}{R} - I_1 \right) - (\sqrt{C_s + 1} - 1) I_2 \right\} \quad (17)$$

とおいて

$$\begin{aligned} I_1 &= \left[C_1 + C_2 R \left(\frac{x_1}{R} - 2 \frac{x_0}{R} \right) + 3 C_3 R^2 \left\{ \left(\frac{x_1}{R} \right)^2 - \frac{x_1}{R} \frac{x_0}{R} + \left(\frac{x_0}{R} \right)^2 \right\} \right] \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R} \right)^2} \\ &\quad - \left\{ C_1 - C_2 R \frac{x_0}{R} + 3 C_3 R^2 \left(\frac{x_0}{R} \right)^2 \right\} \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R} \right)^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\left(C_2 R - 3C_3 R^2 \frac{x_0}{R}\right) \left[\log_e \left\{ \frac{x_1}{R} + \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} \right\} - \log_e \left\{ \frac{x_0}{R} + \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} \right\} \right] \\
& - 2C_3 R^2 \left[\left\{ 1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2 \right\}^{3/2} - \left\{ 1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \right\}^{3/2} \right]
\end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
I_2 = & \left[C_1 - 2C_2 R \frac{x_0}{R} + 3C_3 R^2 \left\{ 1 - \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \right\} \right] \left(\tan^{-1} \frac{x_1}{R} - \tan^{-1} \frac{x_0}{R} \right) \\
& + \left(C_2 R - 3C_3 R^2 \frac{x_0}{R} \right) \left[\log_e \left\{ 1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2 \right\} - \log_e \left\{ 1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \right\} \right] \\
& + 3C_3 R^2 \left(\frac{x_1}{R} - \frac{x_0}{R} \right)
\end{aligned} \quad (19)$$

或いは C_1, C_2, C_3 についてまとめて

$$\begin{aligned}
I_1 = & C_1 \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} \right\} + C_2 R \left[\left(\frac{x_1}{R} - 2 \frac{x_0}{R} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} \right. \\
& + \left. \frac{x_0}{R} \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} - \log_e \left\{ \frac{x_1}{R} + \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} \right\} + \log_e \left\{ \frac{x_0}{R} + \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} \right\} \right] \\
& + C_3 R^2 \left[3 \left\{ \left(\frac{x_1}{R}\right)^2 - \frac{x_1}{R} \frac{x_0}{R} + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \right\} \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} - 3 \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} \right. \\
& + 3 \frac{x_0}{R} \log_e \left\{ \frac{x_1}{R} + \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} \right\} - 3 \frac{x_0}{R} \log_e \left\{ \frac{x_0}{R} + \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} \right\} \\
& \left. - 2 \left\{ 1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2 \right\}^{3/2} + 2 \left\{ 1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \right\}^{3/2} \right]
\end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
I_2 = & C_1 \left(\tan^{-1} \frac{x_1}{R} - \tan^{-1} \frac{x_0}{R} \right) \\
& + C_2 R \left[\log_e \left\{ 1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2 \right\} - \log_e \left\{ 1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \right\} - 2 \frac{x_0}{R} \left(\tan^{-1} \frac{x_1}{R} - \tan^{-1} \frac{x_0}{R} \right) \right] \\
& + 3C_3 R^2 \left[\frac{x_1}{R} - \frac{x_0}{R} - \frac{x_0}{R} \log_e \left\{ 1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2 \right\} + \frac{x_0}{R} \log_e \left\{ 1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \right\} \right. \\
& \left. - \left\{ 1 - \left(\frac{x_0}{R}\right)^2 \right\} \left(\tan^{-1} \frac{x_1}{R} - \tan^{-1} \frac{x_0}{R} \right) \right]
\end{aligned} \quad (21)$$

§ 3. 近 似 式

v_i が v_0 に比して小さいとき、即ち C_s が小さいときは (3) の右辺第 2 項は省略することができる。従つて

$$P_i = \rho v_0 v_i \quad (22)$$

となり、推力減少率は下式で与えられる。

$$t = \frac{4\alpha'}{\pi(\sqrt{C_s+1}+1)(1-w)} \left(\frac{y_1}{R} - I_1 \right) \quad (23)$$

$\alpha' = \alpha$ として (17) と (23) の差は

$$\Delta t = \frac{(\sqrt{C_s+1}-1)}{\pi(\sqrt{C_s+1}+1)} \left\{ 2 \left(\frac{y_1}{R} - I_1 \right) - I_2 \right\} \quad (24)$$

§ 7 の No. 3 の実例について計算して見ると $I_1 = 2.993$, $I_2 = 0.366$, $y_1/R = 3.205$, $w = 0.275$ であるから

$$\Delta t = 0.0185 \frac{(\sqrt{C_s+1}-1)}{(\sqrt{C_s+1}+1)}$$

ここで $\Delta t < 0.005$ とすると $C_s < 2.04$ となり、 C_s が余り大きくない限り近似式を用いて差し支えないことがわかる。又特に船体後部が二平面による楔形をなす場合は

$$C_2 = C_3 = 0$$

であるから、 $I_1 = C_1 = \tan \varepsilon_0$ となつて

$$\begin{aligned}
t = & \frac{4\alpha}{\pi(\sqrt{C_s+1}+1)} \left[\left(\frac{y_1}{R} - \tan \varepsilon_0 \right) \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} \right\} \right] \\
= & \frac{4\alpha \tan \varepsilon_0}{\pi(\sqrt{C_s+1}+1)} \left\{ \frac{x_1}{R} - \frac{x_0}{R} - \sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} + \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} \right\}
\end{aligned} \quad (25)$$

更に $x_1 \rightarrow \infty$ の場合には $\sqrt{1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2} \frac{x_1}{R} \rightarrow R$ であるから

$$t = \frac{4\alpha \tan \varepsilon_0}{\pi(\sqrt{C_s+1}+1)} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} - \frac{x_0}{R} \right\} \quad (26)$$

§ 4. 船型以外の要素の影響

(23) は次の様に書ける。

$$t = \frac{F}{(1-w)(\sqrt{C_s+1}+1)} \quad (27)$$

但し F は船型だけの函数である。ここに $C_{s0} = \frac{2T}{\pi R^2 \rho v_s^2}$ とおいて

$$t = \frac{F}{\sqrt{C_{s0} + (1-w)^2 + 1} - w} \quad (28)$$

(27), (28) によつて C_s 又は C_{s0} が一定のときは, Reynolds 数が大きくなると w が減じ, t も従つて減少してくる。 C_s が増すと t は減ずる訳であるが, その割合は

$$\frac{dt}{t} = \frac{dt}{dC_s} \frac{C_s}{t} \frac{dC_s}{C_s} = - \frac{C_s}{2\sqrt{C_s+1}(\sqrt{C_s+1}+1)} \frac{dC_s}{C_s} \quad (29)$$

$C_s = 1.35$ を入れると

$$\frac{dt}{t} = -0.174 \frac{dC_s}{C_s}$$

次に hull efficiency に及ぼす scale effect を考える。hull efficiency は

$$e_H = \frac{1-t}{1-w}$$

であるから, w を変数として

$$\frac{de_H}{e_H} = \frac{de_H}{dw} \frac{w}{e_H} \frac{dw}{w} = w \left\{ \frac{1}{(1-w)} - \frac{1}{(1-t)} \frac{dt}{dw} \right\} \frac{dw}{w}$$

$C_s = \text{const}$ として

$$\frac{dt}{dw} = - \frac{F}{(\sqrt{C_s+1}+1)(1-w)^2} = - \frac{t}{1-w}$$

であるから

$$\frac{de_H}{e_H} = w \left\{ \frac{1}{(1-w)} + \frac{F}{(\sqrt{C_s+1}+1)(1-t)(1-w)^2} \right\} \frac{dw}{w} = \frac{w}{(1-w)(1-t)} \frac{dw}{w} \quad (30)$$

$w = 0.275, t = 0.2$ とすれば

$$\frac{de_H}{e_H} = 0.474 \frac{dw}{w}$$

Reynolds 数が大きくなれば t も w も小さくなるが, e_H としては結局 w と共に減少することを示している。

同様に $C_{s0} = \text{const}$ とすれば

$$\frac{dt}{dw} = \frac{t}{\{\sqrt{C_{s0} + (1-w)^2 + 1} - w\}^2} \left\{ \frac{1-w}{\sqrt{C_{s0} + (1-w)^2 + 1}} + 1 \right\}$$

$C_{s0} = 0.711, w = 0.275, t = 0.2$ として

$$\frac{de_H}{e_H} = 0.318 \frac{dw}{w}$$

この場合は変化の割合は $C_s = \text{const.}$ の場合より小さいが, Reynolds 数が大きくなれば e_H は矢張り減少する。

§ 5. Hull efficiency に及ぼす船型による t の変化の影響

Hull efficiency の向上のためには船型を如何に選ぶべきかと云う問題に対しては, 単に t を減少することだけを考えるのは不十分で, 船型の変化によつて生ずる w の変化も同時に調べなければならない。以下簡単な考察を試みることにする。

今 2 次元現象について, プロペラを強さ $|Q_0|$ の sink と強さ $2|Q_0|$ の後方のみに向う source の組合せと考える。プロペラ中心線上前方 x の所の船体後部附近に, 船型と t を変化するために $|4Q|$ の source を附加し,

同時に同じ強さの sink を船体前半部の x の対称点に附加する。プロペラ推力は

$$T = \rho v_p Q_0 = \rho v_s (1-w) Q_0 \quad (31)$$

プロペラなしの最初のときの x 及びその対称点における速度は略々等しいから、これを v とおく。source $4Q$ による T の変化は

$$\Delta T_1 = -\rho \left(v + \frac{Q_0}{2\pi x} \right) 4Q - \frac{\rho Q_0}{2\pi x} 4Q \quad (32)$$

sink $4Q$ による T の変化は、プロペラとの距離が遠いから相互の誘導速度の影響を省略して

$$\Delta T_2 = \rho v 4Q \quad (33)$$

$$\therefore \Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 = -\frac{\rho Q_0 4Q}{\pi x} \quad (34)$$

従つて

$$\Delta t = -\frac{\Delta T}{T} = -\frac{\Delta Q}{\pi x v_s (1-w)} \quad (35)$$

(35) において $v_s < 0$ であるから、 $\Delta Q > 0$ のとき $\Delta t < 0$ である。一方 source $4Q$ によつてプロペラに誘導される速度は

$$\Delta v_0 = -\frac{\Delta Q}{2\pi x} \quad (36)$$

摩擦に起因する伴流係数は一定であるから

$$\Delta w = -\frac{\Delta v_0}{v_s} = \frac{\Delta Q}{2\pi x v_s} \quad (37)$$

Δt と同様 source $4Q$ によつて $\Delta w < 0$ である。 t を変数として

$$\frac{\partial e_H}{\partial t} = \frac{1}{(1-w)^2} \left\{ (1-t) \frac{\partial w}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial t} - (1-w) \right\}$$

(35), (36) を代入して

$$\frac{\partial e_H}{\partial t} = -\frac{(1+t)}{2(1-w)} \quad (38)$$

ここに $t > -1$, $w < 1$ であるから

$$\frac{\partial e_H}{\partial t} < 0 \quad (39)$$

以上の簡単化した場合には t を減少すれば hull efficiency は増加することになるが、この結果を押し括めて一般の場合にも性質的には後部船型としては t が小さいものを選ぶのが有利であると云えよう。

§ 6. 流線の広がり と immersion の影響

t の基礎式を出すに当つては計算を簡単にするために、プロペラ前方の流線の広がりを考慮しなかつた。実際には C_s が小さいときはそれでよいが、 C_s が大きくなると幾分誤差を生じてくる。プロペラ前方 x におけるプロペラ流線の半径を R' とすれば、連続の条件によつて

$$\left(\frac{R'}{R} \right)^2 = \frac{v_p + \frac{1}{2} v_{i\infty}}{v_p + v_i} = \frac{1 + \frac{v_{i\infty}}{2v_p}}{1 + \frac{v_i}{v_p}} \quad (40)$$

(4), (9) を代入して

$$\frac{R'}{R} = \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{2}(\sqrt{C_s+1}-1)}{1 + \frac{1}{2}(\sqrt{C_s+1}-1)\left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2+R^2}}\right)}} \quad (41)$$

$x \rightarrow \infty$ 即ち無限前方においては

$$\frac{R'_{\max}}{R} = \sqrt{\frac{\sqrt{C_s+1}+1}{2}} \quad (42)$$

半無限 cylinder の場合流線の広がりを考慮に入れた推力減少率を t' とすれば

$$\frac{t'}{t} < \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{\frac{C_s+1}{2}} + 1 \right\} \quad (43)$$

$C_s=1.35$ に対しては $t'/t < 1.06$ となり、最大限この範囲の誤差が生ずる訳であるが、実際はこの限度よりはるかに小さい値となると思われる。

immersion が大きくなれば、流線の広がり方が上方の水の表面で制限されることが少なくなつて、半無限体の場合に近附くから t は次第に大きくなる。これと共に $z > R'$ の部分に働く静圧による t も無視できなくなつてくる。

§7. 船型の t に及ぼす影響

A 船を基準にして実例計算を行う。水線面としては上下方向の 3 次元的变化も考慮して、プロペラ中心より少々上方の 3 m 水線面をとる。

要目は $L_{WL}=82.67$ m, $x_0=0.585$ m, $x_1=22$ m, $y_1=6.25$ m, $R=1.95$ m
水槽試験及び試運転結果の解析により

$$C_s=1.35, v_s=11.30 \text{ kts}, w=0.275, t=0.20$$

水線面の形になるべく近い 3 次式をとると, $C_1=0.25$, $C_2=0.0175368$, $C_3=-0.00072765$ となり, これは第 1 表及び第 3 図の No. 3 に相当する。この値を (20), (21) に入れて計算すると $I_1=2.993$, $I_2=0.366$ を得る。次に (17) の圧辺を 0.2 に等しいとして $\alpha=1.333$ となる。この α を用いて他の船型の t を計算することにする。上と同じ No. 3 の船型に対して (23) の近似式を用いると $\alpha=1.364$ となり, これによつた t の値も第 1 表で見る様に (17) によつて計算したものと殆んど変わらない。

No. 3 の船型から出発して第 1 表の様に要目を変えた船型の形は第 3 図, 第 4 図に, これに対する t の値は

第 1 表

No.	x_0	x_1	$(x_1-x_0)/B$	C_1	$10^3 C_2$	$-10^3 C_3$	t	t (近似式)
1	0.585 m	22 m	1.71	0	4.08851	1.27279	0.100	0.101
2	"	"	"	0.10	3.15459	1.05473	0.139	0.140
3	"	"	"	0.25	1.75368	0.72565	0.200	0.200
4	"	"	"	0.40	0.35281	0.40057	0.247	0.248
5	"	12	0.91	0.25	10.00942	6.48531	0.306	0.306
6	"	17	1.31	"	3.91257	1.89829	0.234	0.234
7	"	27	2.11	"	0.79434	0.31990	0.182	0.182
8	1.585	22	1.71	"	2.04968	0.86929	0.128	0.129

第 3 図

第 4 図

第 5 図, 第 6 図に示した。これから次のことが云える。

(i) 船体後端角 ϵ_0 の t に及ぼす影響は非常に大きく, t の変化は $\tan \epsilon_0$ に比例している。

(ii) 船体後部の長さ (x_1-x_0) が大きい程 t は小さい。併し $(x_1-x_0)/B$ が 1.5 位まではかなり影響も著しいが, それ以上になると余り効かなくなる。

(iii) No. 3 と No. 8 とを比較すると, プロ

第 5 図

ペラから船体後端までの距離を 0.585 m から 1.585 m に増しただけで、 t は 0.2 から 0.128 まで急激に減少している。プロペラ位置の影響を見るために (26) において $x_0=0$ のときの t を t_0 とすれば

$$\frac{t}{t_0} = \sqrt{1 + \left(\frac{x_0}{R}\right)^2} - \frac{x_0}{R} \quad (44)$$

x_0/R に対する t/t_0 の値を第 7 図で見ても、矢張りプロペラ位置の影響が非常に大きいことがわかる。

§ 8. 結 論

以上を総括して

- (1) t は w が小さい程小さい。(2) t は Reynolds 数が大きい程小さい。(3) t は C_s が大きい程小さい。(4) t は船体後端角が小さい程小さく、その影響は著しい。(5) t はプロペラと船尾骨材との間の隙間が大きい程小さく、その影響は著しい。(6) t はプロペラ immersion が小さい程小さい。(7) Hull efficiency は船型による t が小さい程大きい。(8) Hull efficiency は Reynolds 数が小さい程大きい。つまり hull efficiency を大きくするに最も重要な方法は、摩擦による伴流係数を大きくすると同時に、出来るだけプロペラを後方に設置し、且つ船体後端角を小さくすることである。

第 6 図

第 7 図

§ 9. 記 号

x : プロペラ中心から水平前方にとる
 y : " 左舷にとる
 z : " 垂直上方にとる
 x_0 : 船体後端
 x_1 : $dy/dx=0$ になる所
 y_1 : x_1 における y の値、即ち最大半幅
 R : プロペラ半径
 ϵ_0 : 船体後端角
 v_0 : 船体表面上のプロペラの無いときの速度
 v_s : 無限前方の流速 ($-v_s$ = 船の進行速度)
 v_p : プロペラ面における有効流速

v_i : プロペラ誘導速度
 $v_{i\infty}$: プロペラ後流中無限後方の誘導速度
 P_i : プロペラによる誘導静圧力
 ρ : 水の密度
 T : 推 力
 Q : source 又は sink
 C_s : 推力荷重係数 (schubbelastungsgrad) $= 2T / (\rho v_p^2 \pi R^2)$
 t : 推力減少率
 w : 伴流係数
 α : 船体後部の有効速度係数