Contrarudder を有する推進器の性能計算 について

正員 工学士 横 田 剛*

Abstract

On the Theory of the Characteristics of Propellers with Contrarudders

By Tsuyoshi Yokota, *Kogakushi, Member*

In order to increase the propulsive efficiency of ship, we often use the contrarudder. The effect of the contrarudder has been often experimented in tanks. If we can solve theoretically on this problems, we can design the most suitable propeller-contrarudder series of the ship.

Then in this papers, the author solved for the effect of the contrarudder theoretically, and calculated the gain of the propeller thrust for some examples.

In conclusion it has been verified that the gain of the propeller thrust is about 1~3% for some examples in comparison with ordinary streamlined rudder, and this percentage is nearly the same as in tanks.

§ 概 要

Contrarudder を装備した船舶の推進性能の理論的研究の中、単独推進器—contrarudder の組合せにおける性能計算を行ったもので、実船における計算例の結果は、contrarudder を有する場合は普通型舵を有する場合に比して、従来実験的に確かめられていたように約 1~3% の推力の増加が理論的にも確かめられた。

内 容

1. 緒 論 2. 理 論 3. 数値計算 4. 結 論

1. 緒 論

船舶の推進性能を改善する為の一手段として、推進器後流の回転 energy を回収する思想は古くから contra-propeller 等の装備により行われているが、商船殊に貨物船においては、その構造の簡単さが尊重される為、contrarudder が多く採用されてきた。それは (i) rudder post が無い場合、rudder の頭部若しくは尾部に回転流に対して迎角を与える如く振つたもの、(ii) rudder post が有る場合、それを利用して rudder post 若しくは rudder の尾部を振つたものがあるが、(ii) で rudder post と rudder とが流体力学的に一体として作用する限り、(i) と (ii) では直進時には推進性能に及ぼす影響は同一と考えられる。以後本論では両者を含めて contrarudder と呼んでおく。

Contrarudder を装備した場合、推進性能がどのように改善されるかに就いては個々の場合において、種々数量的にも実験結果が発表されているし、又どのような方法で contrarudder-推進器の組合せを撰定すれば最良の推進効率が得られるかに就いても、実験的に trial and error method で略々目的を達することができる。けれども之を一般的な理論で把握することができれば、設計室において比較的簡単に最良推進効率の条件に合う如く contrarudder-推進器の組合せを設計できるし、又与えられた組合せの性能を計算できる。然しこの理論は今迄満足できるものがなかつたようである。

西日本重工業株式会社広島造船所において建造された安芸浦丸及び建造中の H-27 番船にも前者は (i)、後者は (ii) の型式の contrarudder が装備されているが、著者は安芸浦丸の試運転成績の解析及び H-27 番船の推進性能の予想の為に、contrarudder を装備した場合の推進器の性能を計算する必要を認めたので、この問題の理論的研究を行った。その結果に基づいて両船の場合に就き数値計算を行った。

* 西日本重工業株式会社広島造船所技師

叙上の理論より更に最良推進効率の contrarudder-推進器の組合せの設計方式を導入することができるが、この研究は他の時機にゆずり、今回は実船における計算例を示し、contrarudder による gain の程度を明らかにすることにとどめた。

2. 理 論

Contrarudder 全体的推力増加は、推進器後流の回転流による推力の発生と、contrarudder と推進器の相互作用による推力の変化との二つが考えられる。ここでは計算の順序として、(1) 単独推進器の性能を計算し流出速度を求め、(2) それより contrarudder により発生する推力を計算し、(3) 次いで渦理論により、推進器及び contrarudder を夫々渦線とみなし、その相互作用を論じ、(4) これらの結果より全体的推力増加を計算することにする。

2-1 単独推進器の性能

Betz-Prandtl による渦理論を基礎として、Helmbold, 山県博士, 及び Van Lammern 等の理論及び設計図表を用いて計算を行う。

Hydrodynamic pitch angle γ は Fig. I により

$$\tan \gamma = \frac{v + w_a/2}{\omega r - w_t/2} = \frac{v + w/2}{\omega r} \quad (2.1.1)$$

又、

$$\tan \gamma = b = b_0 \frac{R}{r} = b_0 x \quad (2.1.2)$$

及び

$$\frac{v}{\omega R} \lambda \quad (2.1.3)$$

で表わせば、

$$V_P \frac{\omega r (1 + \lambda b_0 x^2)}{\sqrt{1 + (b_0 x)^2}} \quad (2.1.4)$$

一方半径 r の位置における circulation は Prandtl の係数を k , 翼数を z とすると、

$$\Gamma_P = \frac{2\pi R w k}{z} \quad (2.1.5)$$

又、

$$\delta = \frac{w}{v} = \frac{2(b_0 - \lambda)}{\lambda} \quad (2.1.6)$$

及び

$$b_1 = \frac{v + w/2}{R_1} = \xi b_0 \quad (2.1.7)$$

$$\text{但し } \xi = \frac{1}{1 - \frac{1.386 b_0}{z \sqrt{1 + b_0^2}}} \quad (2.1.8)$$

とおけば半径方向の遠心力による吸引作用の修正を行つた hydrodynamic pitch angle は、

$$\tan \beta = \tan \gamma \cdot 1 + \left[\frac{\delta \left\{ \frac{b_1 x^2}{1 + (b_1 x)^2} - \frac{b_1^2}{1 + b_1^2} \right\}}{\left\{ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta}{1 + (b_1 x)^2} \right\} \left\{ \frac{1}{1 + (b_1 x)^2} \right\}} \right] \quad (2.1.9)$$

で表わすことができる。

C_L を翼素の揚力係数、 B を翼素の幅とすると、

$$\Gamma_1 = \frac{c_L B V_P}{2} \quad (2.1.10)$$

と (2.1.5) とを等置して、(2.1.3) $\omega R = \frac{v}{\lambda}$ 及び

FIG. I

$$w_t = w \sin \gamma \csc \gamma = 2(b_0 - \lambda) \omega R \frac{b_0 x}{1 + (b_0 x)^2} \quad (2.1.11)$$

より

$$C_l B = \frac{4\pi D(b_0 - \lambda)b_0}{z} \cdot kx \cdot \frac{1}{(1 + \lambda b_0 x^2)\sqrt{1 + (b_0 x)^2}} \quad (2.1.12)$$

遠心力による半径方向の吸引作用の影響の補正を行えば、

$$C_l \cdot B = \frac{4\pi D(b_0 - \lambda)b_0}{z} \cdot kx \cdot \frac{1}{(1 + \lambda b_0 x^2)\sqrt{1 + \tan^2 \beta}} \quad (2.1.13)$$

V_P は (2.1.4) に遠心力による影響の補正を行つて、

$$V_P = \frac{1 - x(b_0 - \lambda) \sin \gamma \cos \gamma}{\cos \beta} \cdot 2\pi nr \quad (2.1.14)$$

を用いる。揚力は

$$dP_P = \rho V_P \Gamma_P dr \quad (2.1.15)$$

で計算できる。これより推力 dT_P 及び切線力 dS_P は摩擦を考慮して ε_i を抗揚比とすれば、

$$\begin{aligned} dT_P &= dT_{0P} - \varepsilon_i dS_{0P} \\ &= dP_P \cos \beta - \varepsilon_i dP_P \sin \beta \end{aligned} \quad (2.1.16)$$

$$\begin{aligned} dS_P &= dS_{0P} + \varepsilon_i dT_{0P} \\ &= dP_P \sin \beta + \varepsilon_i dP_P \cos \beta \end{aligned} \quad (2.1.17)$$

半径 r における推進器翼素の効率

$$d\eta_P = \frac{dT_P}{dS_P \cdot r/R} \lambda \quad (2.1.18)$$

又、推力及び回転力率は

$$T_P = \int_0^R dT_P \quad (2.1.19)$$

及び

$$M_1 = \int_0^R r dS_P \quad (2.1.20)$$

を図式積分により得られる。

全体の効率

$$\eta_P = \frac{T_P}{M_P/R} \lambda \quad (2.1.21)$$

で表わされる。

2-2 Contrarudder により発生する推力

Contrarudder における circulation の分布を次の如き橢円揚力分布であると仮定し、且つ推進器円盤の後流においてのみ推力を発生すると考える。

$$\Gamma_r = \Gamma_{0r} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2r}{R}\right)^2} \quad (2.2.1)$$

そうすれば、 R 上の一点 r における誘起速度は、

$$\begin{aligned} w_{rn} &= \frac{1}{4\pi} \int_0^R \frac{\partial \Gamma_r}{\partial r} \cdot \frac{1}{r-x} \cdot dr \\ &= \frac{\Gamma_{0r}}{2R} \end{aligned} \quad (2.2.2)$$

故に

$$\Gamma_r = 2Rw_{rn} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2r}{R}\right)^2} \quad (2.2.3)$$

又 Fig. 2 により contrarudder に対する hydrodynamic pitch angle を γ_r とすると、

$$\tan \gamma_r = \frac{v + w_a + w_{ar}}{w_t - w_{tr}} = b_r \quad (2.2.4)$$

また

$$V_r = \frac{w_t - w_{tr}}{\cos \gamma_r} = \frac{w_t}{\cos \gamma_r} \left(1 - \frac{w_{tr}}{w_t}\right) = \frac{w_t}{\cos \gamma_r} \left(1 - \frac{w_t}{w_r} \cos \gamma_r \cdot \sin \gamma_r\right) \quad (2.2.5)$$

然るに、

$$v + w_a = w_t \cdot \tan \gamma_r - w_r = w_t b_r - w_r \quad (2.2.6)$$

$$\text{であるから,} \quad \frac{v + w_a}{w_t} = \lambda_r \quad (2.2.7)$$

$$\text{とおけば,} \quad \lambda_r = b_r - \frac{w_r}{w_t} \quad (2.2.7)$$

$$\text{故に,} \quad \frac{w_r}{w_t} = b_r - \lambda_r \quad (2.2.8)$$

之を (2.2.5) に代入し、

$$\cos \gamma_r = \frac{1}{\sqrt{1+b_r^2}}, \text{ 及び } \sin \gamma_r = \frac{b_r}{\sqrt{1+b_r^2}} \quad (2.2.9)$$

を考えれば、

$$\begin{aligned} V_r &= w_t \cdot \sqrt{1+b_r^2} \left\{ 1 - (b_r - \lambda_r) \cdot \frac{b_r}{1+b_r^2} \right\} \\ &= \frac{w_t}{\sqrt{1+b_r^2}} (1 + b_r \cdot \lambda_r) \end{aligned} \quad (2.2.10)$$

一方 circulation は

$$\Gamma_r = \frac{C_{lr} B_r V_r}{2} \quad (2.2.11)$$

(但し、 C_{lr} は contrarudder 翼素の揚力係数、 B_r はその幅である.)
で表わされるから、

$$C_{lr} B_r = \frac{4 R w_m}{V_r} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2r}{R}\right)^2} \quad (2.2.12)$$

又、

$$w_m = w_r \cos \gamma_r = w_t (b_r - \lambda_r) \cos \gamma_r \quad (2.2.13)$$

であるから、

$$\begin{aligned} C_{lr} B_r &= \frac{4 R \cdot w_t (b_r - \lambda_r)}{V_r} \cdot \cos \gamma_r \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2r}{R}\right)^2} \\ &= \frac{4 R (b_r - \lambda_r)}{1 + b_r \lambda_r} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2r}{R}\right)^2} \end{aligned} \quad (2.2.14)$$

従つて Γ_r は (2.2.11) より計算できる。揚力は、

$$dP_r = \rho V_r \Gamma_r dr \quad (2.2.15)$$

之より推力は摩擦を考へて、 ε_{ir} を抗揚比とすると、

$$dT_r = dP_r \cos \gamma_r - \varepsilon_{ir} dP_r \sin \gamma_r \quad (2.2.16)$$

切線力は、

$$dS_r = dP_r \sin \gamma_r + \varepsilon_{ir} dP_r \cos \gamma_r \quad (2.2.17)$$

を計算すればよい。故に推力は

$$T_r = 2 \int_0^R dT_r \quad (2.2.18)$$

を図式積分により求めることができる。

2-3 Contrarudder と推進器の相互作用

2-3-1 : Contrarudder により誘起される推進器翼素における誘起速度

Contrarudder を一つの渦線とみなし推進器翼を回転する渦線とみなすことは、推進器の渦理論の一つの拡張である。そう考えれば contrarudder と推進器の相互作用は、

(1) Contrarudder の渦線により推進器翼素に誘起される誘起速度、

(2) 推進器翼の渦線により contrarudder の翼素に誘起される誘起速度、

が各々の翼素において既知のものより減少若しくは増大し、従つて之が誘起抵抗の減少若しくは増大を来すと考えられる。(2) については contrarudder 自身の誘起速度が推進器のそれに比して非常に小さいので、省略して差支えないから (1) のみを論ずることとする。

FIG. II

前述の如く推進器を表わす渦線を Γ_P , contra-rudder を表わす渦線を Γ_r とし、座標を Fig. 3 の如く定めると、 Γ_P 上の任意の翼素の代表する座標は、

$$\begin{cases} x = r \sin \omega t \\ y = 0 \\ z = r \cos \omega t \end{cases} \quad (2.3.1)$$

Γ_r 上の任意の翼素の代表する座標は

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = c \\ z = r' \end{cases} \quad (2.3.2)$$

で表わされる。 Γ_r 上の任意の翼素 (2.3.2) より流出する渦帯は、 r_y' を翼素 (2.3.2) より距離とすると次の方程式で代表させることができる。

$$\begin{cases} x = 0 \\ y = C + r_y' \\ z = r' \end{cases} \quad (2.3.3)$$

そうすると翼素 (2.3.1) と渦帯 (2.3.3) との距離 $h(t)$ は次の如くなる。

$$h(t) = \sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr' \cos \omega t} \quad (2.3.4)$$

更に翼素 (2.3.1) と渦帯 (2.3.3) を結ぶ直線と、渦帯 (2.3.3) との間の角を $\theta(t)$ とすると、

$$\cos \theta(t) = \frac{c + r_y'}{\sqrt{r^2 + r'^2 + (c + r_y')^2 - 2rr' \cos \omega t}} \quad (2.3.5)$$

従つて推進器翼素 (2.3.1) において、contrarudder の翼素 (2.3.2) より流出する微小幅 dr' の渦帯により誘起される誘起速度は、

$$w_1'(r') = \frac{1}{4\pi h(t)^2} \cdot \frac{\partial \Gamma_r}{\partial r'} \cdot dr' \int_{r_y'=0}^{\infty} \sin \theta(t) \cdot dr_y' \quad (2.3.6)$$

$\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta(t)$ とおくと、

$$\begin{aligned} w_1(r') &= \frac{1}{4\pi h(t)} \cdot \frac{\partial \Gamma_r}{\partial r'} \cdot dr' (1 - \sin \alpha) \\ &= \frac{1}{4\pi h(t)} \cdot \frac{\partial \Gamma_r}{\partial r'} \cdot dr' \{1 - \cos \theta_1(t)\} \end{aligned} \quad (2.3.7)$$

但し、 $\theta_1(t)$ は (2.3.5) において $r_y' = 0$ とおいて、

$$\cos \theta_1(t) = \frac{c}{\sqrt{r^2 + r'^2 + c^2 - 2rr' \cos \omega t}} \quad (2.3.8)$$

この誘起速度は翼素 (2.3.1) と渦帯 (2.3.3) を含む平面に垂直であるから、翼素 (2.3.1) より流出する渦帯の面に垂直な分速度を求める。翼素 (2.3.1) に垂直な方向は (2.1.9) で定められる。即ちその direct cosine は、

$$[-\sin \beta \cos \omega t, \cos \beta, \sin \beta \sin \omega t] \quad (2.3.9)$$

である。一方翼素 (2.3.1) と渦帯 (2.3.3) を含む平面の方程式は次の如く表わされる。

$$(r \cos \omega t - r')x - (r \sin \omega t)z + rr' \sin \omega t = 0 \quad (2.3.10)$$

この平面の法線の direct cosine は

$$\left[\frac{r \cos \omega t - r'}{\sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr' \cos \omega t}}, 0, \frac{-r \sin \omega t}{\sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr' \cos \omega t}} \right] \quad (2.3.11)$$

であるから、(2.3.9) とのなす角は、

$$\cos \varphi(t) = \frac{\sin \beta (-r + r' \cos \omega t)}{\sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr' \cos \omega t}} \quad (2.3.12)$$

FIG. III-1

FIG. III-2

従つて (2.3.7) の翼素 (2.3.1) に垂直な分速度は、

$$w_1'(r') \cos \varphi(t) = \frac{1}{4\pi h(t)} \cdot \frac{\partial \Gamma_r}{\partial r'} \cdot dr' \{1 - \cos \theta(t)\} \cos \varphi(t) \quad (2.3.13)$$

ここでも推進器円盤の後流範囲だけに相互作用を限定して考えると、

$$w_1'(r') = \frac{1}{4\pi} \int_0^R \frac{\partial \Gamma_r}{\partial r'} \cdot dr' \frac{\{1 - \cos \theta_1(t)\} \cos \varphi(t)}{h(t)} \quad (2.3.14)$$

次いで、渦線 Γ_r により翼素 (2.3.1) に誘起される誘起速度を計算する。渦線 Γ_r と翼素 (2.3.1) の距離を $s(t)$ とすると、

$$s(t) = \sqrt{r'^2 \sin^2 \omega t + c^2} \quad (2.3.15)$$

翼素 (2.3.1) と渦線 Γ_r の任意の翼素 (2.3.2) を結ぶ直線と渦線 Γ_r とのなす角を $\chi(t)$ とすると、

$$\cos \chi(t) = \frac{r' - r \cos \omega t}{\sqrt{r'^2 + r^2 + c^2 - 2rr' \cos \omega t}} \quad (2.3.16)$$

故に渦線 Γ_r の微小長さ dr' により翼素 (2.3.1) に誘起される誘起速度は、

$$w_2'(r') = \frac{1}{4\pi} \int_0^R \frac{\Gamma_r \cos \chi(t)}{s(t)^2} dr' \quad (2.3.17)$$

この誘起速度は翼素 (2.3.1) において渦線 Γ_r を含む平面に垂直であるから、翼素 (2.3.1) より流出する渦帯の面に垂直な分速度を求める。翼素 (2.3.1) において Γ_r を含む平面の方程式は、

$$cx + (r \sin \omega t)y - cr \sin \omega t = 0 \quad (2.3.18)$$

で表わされるから、前と同様にこの平面の法線と、翼素 (2.3.1) における垂線となす角を $\phi(t)$ とすると、

$$\cos \phi(t) = \frac{-c \sin \beta \cos \omega t + r \cos \beta \sin \omega t}{\sqrt{c^2 + r^2 \sin^2 \omega t}} \quad (2.3.19)$$

従つて (2.3.17) の翼素 (2.3.1) に垂直な分速度は、

$$w_2(r') = \frac{1}{4\pi} \int_0^R \Gamma_r \frac{\sin \chi(t)}{s(t)^2} \cdot \cos \phi(t) dr' \quad (2.3.20)$$

で表わされる。故に翼素 (2.3.1) に誘起される全誘起速度は、

$$w(r') = w_1(r') + w_2(r') \\ = \frac{1}{4\pi} \int_0^R \left[\frac{\partial \Gamma_r}{\partial r'} \frac{\{1 - \cos \theta_1(t)\} \cos \varphi(t)}{h(t)} + \Gamma_r \frac{\sin \chi(t)}{s(t)^2} \cos \phi(t) \right] dr' \quad (2.3.21)$$

この $w(r')$ は $t=t$ の時の誘起速度であるが、之は Γ_P が角速度 ω で回転しているから、時間と共に変動する。故に 2-1 に対応する誘起速度としては時間的平均を考えねばならぬ。その場合推進器翼が contrarudder と重なる位置を $t=0$ とすれば、 $\omega t = \pi/2$ の時、即ち推進器翼と contrarudder が直角となつた時に相互作用が消滅するものと近似的に考えると、時間的平均値としては、

$$w_m(r') = \frac{\omega}{\pi/2} \int_{\omega t=0}^{\omega t=\pi/2} w(r') dt \\ = \frac{4\pi n r}{\pi} \int_{\omega t=0}^{\omega t=\pi/2} w(r') dt \quad (2.3.22)$$

で表わすことができる。

2-3-2 : 誘起抗力の変化

前節により推進器翼素における誘起速度の変化がわかつたから、誘起抗力の変化、従つて推力、切線力等の変化を計算することができる。(2.3.22) より誘起抗力の変化は、

$$W(r') = \rho \Gamma_P w_m(r') \quad (2.3.23)$$

従つて、推力及び切線力の変化は

$$dT_s = \rho \Gamma_P w_m(r') \cos \beta \quad (2.3.24)$$

$$dS_s = \rho \Gamma_P w_m(r') \sin \beta \quad (2.3.25)$$

となる。従つて

$$T_s = \int_0^R dT_s \quad (2.3.26)$$

$$M_s = \int_0^R r dS_s \quad (2.3.27)$$

を図式積分することにより推力及び回転力率の変化を求めることができる。

2-4 全体の推力, 回転力率及び効率等の計算

(2.1.19), (2.1.20), (2.2.18), (2.3.26) 及び (2.3.27) により全体の推力, 回転力率及び効率は,

$$T = T_P + T_r + T_s \quad (2.4.1)$$

$$M = M_P + N_s \quad (2.4.2)$$

$$\eta = \frac{Tv}{2\pi nM} = \frac{T}{M} \lambda R \quad (2.4.3)$$

で計算することができる。

3. 数 値 計 算

3.1 単独推進器の性能

先ず λ は与えられた条件に対して伴流係数を推定すれば, 船速 V_s , 推進器半径 R , 毎分回転数 N により求めることができる。伴流係数の推定は, 例えば北島氏の方法により推進器の各半径の位置において推定することができる。この λ に対する b_0 を求めるには数式的に解くことが困難なので, 屢々用いられているように図

TABLE IV-1 EXAMPLE OF CALCULATION FOR AKIURA-MARU
FIRST STEP; $b_0 - \lambda = 0$ $V_s = 15.0^m$ $D = 45^m$ $N = 126$

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
$\frac{Y}{R}$	$x = \frac{R}{T}$	λ	b_0	$\tan \gamma = b_0 x$	$\tan \beta = \tan \gamma$	β°
0.25	4.000	0.043	0.043	0.172	0.172	4.45
0.30	3.333	0.069	0.069	0.230	0.230	12.54
0.40	2.500	0.120	0.120	0.300	0.300	16.42
0.50	2.000	0.150	0.150	0.300	0.300	16.34
0.60	1.667	0.163	0.163	0.271	0.271	15.16
0.70	1.433	0.168	0.168	0.240	0.240	13.30
0.80	1.250	0.171	0.171	0.214	0.214	12.5
0.90	1.111	0.173	0.173	0.192	0.192	10.52
(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
β	$\frac{G}{B}$	C_L	$\Delta \alpha_2$	$\frac{\Delta \alpha_1}{V_B}$	$\frac{T}{B}$	$\Delta \alpha = \Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2$
4.75	1.185	0	0	21.0	0.203	4.20
12.90	1.324	0	0	17.0	0.178	3.03
16.70	1.569	0	0	10.5	0.138	1.45
16.65	1.795	0	0	6.7	0.108	0.72
15.17	2.046	0	0	4.4	0.084	0.37
13.50	2.324	0	0	3.1	0.066	0.20
12.08	2.850	0	0	1.4	0.051	0.07
10.87	3.890	0	0	0.3	0.040	0.01
(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
$\Delta \alpha$ (FAIRED)	$\frac{1}{3} \Delta \alpha$	$\beta + \frac{1}{3} \Delta \alpha$	φ	α'_i $= \varphi - (\beta + \frac{1}{3} \Delta \alpha)$	C_L	α'_i
4.20	1.40	11.15	47.98	36.83	0	-8.81
3.03	1.01	13.91	41.88	27.97	0	-7.84
1.45	0.48	17.18	32.38	15.20	0	-6.20
0.72	0.24	16.89	25.92	9.03	0	-4.71
0.37	0.12	15.29	21.50	6.21	0	-3.75
0.25	0.08	13.58	18.58	5.00	0	-2.94
0.07	0.02	12.10	16.43	4.33	0	-2.31
0.01	0.00	10.87	14.68	3.81	0	-1.80

式的に解くことにする。 $b_0 - \lambda$ の或る値を仮定し b_0 を算定する。この b_0 に対して (2.1.7) より b_1 を求める。この b_1 と (2.1.6) に定めた δ に対して, (2.1.9) より遠心力による吸引作用の修正を行つた hydrodynamic pitch angle β を求める。更にこの β 及び gap ratio $G/B = 2\pi r/z \cdot B$ に対して間隙影響修正値として, $\Delta\alpha_1 = \Delta\alpha_1' \cdot T/B$ 及び $\Delta\alpha_2 = \Delta\alpha_2' \cdot C_e$ を Gutsche の図表により計算することができるが, 間隙影響修正値として Van Lammern により, $\frac{1}{3}(\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2) = \frac{1}{3}\Delta\alpha$ ととることとする。一方幾何学的 pitch angle $\phi = p/2\pi r$ は与えられた推進器に対して定まっているから, $\alpha_i = \phi - (\beta + \frac{1}{3}\Delta\alpha)$ が翼素に対する相対入射角となる。

TABLE IV-2

2ND. STEP $t_0 - \lambda = 0.080$

(1) $\frac{1}{2} = \frac{r}{R}$	(2) λ	(3) t_0	(4) $\tan \gamma = t_0 \cdot \pi$	(5) ξ	(6) $t_1 = \xi \cdot t_0$	(7) $\delta = \frac{2(t_0 - \lambda)}{\lambda}$	(8) $\frac{\delta}{z}$
0.25	0.043	0.123	0.492	1.044	0.128	3.730	1.865
0.30	0.069	0.149	0.497	1.053	0.157	2.320	1.160
0.40	0.120	0.200	0.500	1.072	0.214	1.333	0.667
0.50	0.150	0.230	0.460	1.082	0.248	1.068	0.534
0.60	0.163	0.243	0.405	1.088	0.264	0.982	0.491
0.70	0.168	0.248	0.354	1.090	0.270	0.953	0.477
0.80	0.171	0.251	0.314	1.091	0.274	0.936	0.468
0.90	0.173	0.253	0.281	1.092	0.276	0.925	0.463
(9) C	(10) $\tan \beta = C \tan \gamma$	(11) β	(12) $\frac{\Delta\alpha_1}{C_e}$	(13) $\Delta\alpha_2$	(14) $\frac{\Delta\alpha_1}{T/B}$	(15) $\Delta\alpha_1$	(16) $\Delta\alpha = \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2$
2.530	1.243	51.18	4.90	1.60	9.10	1.85	3.45
2.047	1.014	45.40	5.00	1.73	8.30	1.48	3.21
1.563	0.782	38.05	4.80	1.67	5.20	0.72	2.39
1.346	0.608	31.30	4.40	1.44	4.30	0.46	1.90
1.227	0.495	26.33	4.00	1.16	3.40	0.29	1.45
1.161	0.411	22.35	3.20	0.81	2.30	0.15	0.96
1.117	0.350	19.30	1.90	0.44	1.00	0.05	0.49
1.101	0.308	17.12	0.60	0.13	0.17	0.01	0.14
(17) $\frac{\Delta\alpha}{\Delta\alpha_1}$ (FAIRED)	(18) $\frac{1}{3}\Delta\alpha$	(19) χ	(20) ϵ	(21) $\epsilon \cdot \chi$	(22) $\lambda \cdot \chi^2 \cdot t_0$	(23) K_{CB}	(24) $\phi = \frac{4\pi r (b_0 - \lambda)}{z}$
3.45	1.15	12.30	1.000	4.000	0.085	0.440	0.139
3.13	1.04	9.52	1.000	3.333	0.114	0.495	0.168
2.55	0.85	6.12	1.000	2.500	0.150	0.553	0.226
1.98	0.65	4.47	1.000	2.000	0.138	0.615	0.260
1.45	0.48	3.39	0.980	1.633	0.109	0.675	0.275
0.96	0.32	2.50	0.950	1.356	0.084	0.707	0.280
0.49	0.16	1.65	0.870	1.087	0.068	0.740	0.284
0.14	0.05	0.82	0.700	0.778	0.053	0.762	0.286
(25) $G/B = \lambda \cdot \chi$	(26) $C_e B$	(27) B	(28) C_e	(29) α_i	(30) $\beta + \frac{1}{3}\Delta\alpha$	(31) ϕ	(32) $\alpha_i = \phi - (\beta + \frac{1}{3}\Delta\alpha)$
0.556	0.244	0.747	0.327	-5.51	52.33	47.98	-4.35
0.560	0.277	0.778	0.347	-4.17	46.44	41.88	-4.56
0.565	0.313	0.899	0.348	-2.30	38.90	32.38	-6.52
0.520	0.319	0.980	0.326	-1.00	31.95	25.92	-6.03
0.449	0.303	1.046	0.290	-0.20	26.81	21.50	-5.31
0.331	0.269	1.063	0.253	0.32	22.67	18.58	-4.09
0.310	0.229	1.000	0.229	0.66	19.46	16.43	-3.03
0.223	0.170	0.816	0.208	0.94	17.17	14.68	-2.49

(9) C FROM (2.1.9)

(14) $\chi = \frac{R-Y}{T} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{1+\delta}}{t_0}$ (20) $K_{CB} = \frac{1}{(1 + \lambda \chi^2 t_0) \sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$ (21) $C_e B$ FROM (2.1.13)

他方 $C_e B$ を (2.1.12) より b_0 , λ , β 及び D に対して計算することができるから C_e が求まる。 C_e に対して各々の翼素の thickness ratio T/B により α_i' の値を求めることができる。

かくして同一の b_0 に対して α_i , α_i' が求まるから, b_0 の三値に対して夫々 α_i , α_i' を置点して, $\alpha_i = \alpha_i'$ となるところの b_0 を求める。かくて b_0 が確定すれば, w_i は (2.1.10) により, 又 w_a は $v_a = w_i / \tan \gamma$ で計算できる。この計算過程の一例を Table 4 に示してある。

3-2 Contrarudder により発生する推力

λ_r は前節で計算した w_i 及び w_a により, (2.2.7) より計算することができる。前節同様この λ_r に対する b_r を数式的に求めることが困難なので図式的に解くのであるが, 全く前節と同様な方法を用いることができる。即ち b_{0r} の三値に対して α_{ir} 及び α_{ir}' を置点して, $\alpha_{ir} = \alpha_{ir}'$ となるところの b_{0r} を求める。この確定した b_{ir} に対して Γ_r , V_r 従つて推力, 切線力等を 2-2 に従つて計算する。これらの計算過程の一例を Table 5 に示してある。Table 6 は比較の為に, 同一寸法を有する対称翼型舵に対して行う計算である。

TABLE IV-3
3RD STEP. $b_0 - \lambda = 0.120$

(1) $\frac{1}{\lambda} = \frac{T}{R}$	(2) λ	(3) b_0	(4) $\tan \gamma = b_0 \pi$	(5) ξ	(6) $c_i = \xi c_0$	(7) $\delta = \frac{2(c_0 - \lambda)}{\lambda}$	(8) $\frac{\delta}{2}$
0.25	0.043	0.163	0.652	1.060	0.173	5.593	2.797
0.30	0.069	0.189	0.629	1.067	0.201	3.488	1.744
0.40	0.120	0.240	0.600	1.087	0.261	2.000	1.000
0.50	0.150	0.270	0.539	1.098	0.296	1.603	0.802
0.60	0.163	0.283	0.470	1.103	0.312	1.472	0.736
0.70	0.168	0.288	0.411	1.104	0.317	1.432	0.716
0.80	0.171	0.291	0.364	1.105	0.321	1.404	0.702
0.90	0.173	0.293	0.325	1.106	0.323	1.391	0.696
(9) C	(10) $\tan \beta = c \tan \gamma$	(11) β	(12) $\frac{\Delta \alpha_2}{c_i}$	(13) $\Delta \alpha_2$	(14) $\frac{\Delta \alpha_1}{T/B}$	(15) $\Delta \alpha_1$	(16) $\Delta \alpha = \Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2$
3.630	2.364	67.07	3.35	1.48	6.06	1.22	2.70
2.710	1.701	59.55	3.40	1.66	5.50	0.48	2.64
1.903	1.141	48.77	3.40	1.83	4.30	0.59	2.42
1.541	0.831	39.90	3.45	1.73	3.20	0.34	2.07
1.347	0.633	32.30	3.45	1.55	2.90	0.24	1.79
1.242	0.511	27.07	2.80	1.13	1.90	0.13	1.26
1.172	0.427	23.13	1.40	0.69	0.83	0.04	0.73
1.125	0.366	20.01	0.52	0.17	0.13	0.01	0.18
(17) $\Delta \alpha$ (FAIRED)	(18) $\frac{1}{3} \Delta \alpha$	(19) χ	(20) ℓ	(21) $\ell \pi$	(22) $\lambda \pi \cdot c_0$	(23) KQB	(24) $\ell_0 \frac{\lambda \pi (c_0 - \lambda)}{2}$
2.70	0.90	9.03	1.000	4.000	0.112	0.300	0.276
2.64	0.88	7.56	1.000	3.333	0.145	0.367	0.320
2.42	0.81	5.14	1.000	2.500	0.180	0.477	0.407
2.15	0.72	3.85	0.998	1.996	0.162	0.538	0.458
1.75	0.58	2.94	0.970	1.610	0.127	0.606	0.480
1.27	0.42	2.17	0.935	1.335	0.098	0.660	0.488
0.74	0.25	1.43	0.845	1.053	0.079	0.698	0.494
0.18	0.06	0.71	0.660	0.725	0.062	0.729	0.496
(25) (24) $\ell \pi$	(26) $C_e B$	(27) B	(28) C_e	(29) α_i	(30) $\beta + \frac{1}{3} \Delta \alpha$	(31) φ	(32) $\alpha_i = \varphi - (\beta + \frac{1}{3} \Delta \alpha)$
1.103	0.331	0.747	0.443	-4.20	67.97	47.98	-19.99
1.066	0.391	0.778	0.490	-2.52	60.43	41.88	-18.55
1.015	0.484	0.899	0.539	-0.38	49.58	32.38	-17.20
0.913	0.491	0.980	0.501	0.66	40.62	25.42	-14.70
0.773	0.468	1.046	0.448	1.41	32.88	21.50	-11.38
0.651	0.429	1.063	0.404	1.93	27.49	18.58	-8.91
0.520	0.362	1.000	0.362	2.23	23.38	16.43	-6.95
0.359	0.262	0.816	0.321	2.33	20.07	14.68	-5.39

Table 5, Table 6 中 $b_{0r} \rightarrow \infty$ とあるのは, $\alpha_{ir} = \alpha_{ir}'$ となる点が無限遠とみなしうる位置に来るものを示すもので, その場合, Γ_r 及び V_r は (2.2.10), (2.2.11) 及び (2.2.15) より,

$$\begin{aligned}\Gamma_{r_{b_{0r} \rightarrow \infty}} &= \lim_{b_{0r} \rightarrow \infty} \left[\frac{4R(b_r - \lambda_r)}{|1 + b_r \lambda_r|} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2r}{R}\right)^2} \right] \\ &= \frac{4R}{\lambda_r} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2r}{R}\right)^2}\end{aligned}\quad (3.2.1)$$

$$\begin{aligned}\Gamma_{r_{b_{0r} \rightarrow \infty}} &= \lim_{b_{0r} \rightarrow \infty} \left[\frac{w_t}{\sqrt{1 + b_r^2}} (1 + b_r \lambda_r) \right] \\ &= w_t \cdot \lambda_r\end{aligned}\quad (3.2.2)$$

TABLE IV-4
FINAL CALCULATION

(1) $\frac{1}{2} - \frac{1}{R}$	(2) ϵ_0	(3) α_L	(4) λ	(5) $\tan \gamma = \epsilon_0 x$	(6) ξ	(7) $\epsilon_i = 3 \epsilon_0$	(8) $\delta = \frac{2(\epsilon_0 - 1)}{\lambda}$	(9) $\frac{\delta}{2}$	(10) C	(11) $\tan \beta = \tan \gamma$
0.25	0.125	-5.22	0.043	0.500	1.044	0.131	3.826	1.913	2.540	1.245
0.30	0.144	-4.63	0.069	0.496	1.052	0.157	2.392	1.166	2.042	1.013
0.40	0.187	-2.45	0.120	0.466	1.069	0.199	1.106	0.553	1.454	0.679
0.50	0.210	-1.93	0.150	0.420	1.075	0.226	0.806	0.403	1.255	0.528
0.60	0.216	-1.30	0.163	0.358	1.078	0.233	0.650	0.325	1.148	0.412
0.70	0.219	-0.81	0.168	0.313	1.079	0.236	0.613	0.307	1.102	0.345
0.80	0.223	-0.42	0.171	0.278	1.080	0.241	0.609	0.305	1.076	0.299
0.90	0.220	-0.12	0.173	0.245	1.080	0.238	0.546	0.275	1.052	0.258
(12) χ	(13) k	(14) kx	(15) $\lambda x^2 \epsilon_0$	(16) K_{QB}	(17) $\frac{4\pi(\epsilon_0 - 1)}{Z}$	(18) $(17) \cdot kx$	(19) $C \cdot B$	(20) B	(21) C	(22) $\sin \beta$
12.12	1.000	4.000	0.086	0.755	0.145	0.580	0.41	0.747	0.585	0.791
9.51	1.000	3.333	0.115	0.764	0.164	0.546	0.418	0.778	0.537	0.712
6.55	1.000	2.500	0.140	0.789	0.175	0.437	0.345	0.899	0.384	0.561
4.87	0.994	1.988	0.126	0.788	0.199	0.356	0.280	0.980	0.286	0.466
3.79	0.985	1.635	0.097	0.798	0.161	0.263	0.210	1.046	0.201	0.381
2.81	0.969	1.383	0.074	0.806	0.159	0.220	0.177	1.063	0.166	0.326
1.84	0.900	1.125	0.060	0.806	0.163	0.184	0.148	1.000	0.148	0.286
0.93	0.738	0.821	0.046	0.807	0.147	0.121	0.097	0.816	0.119	0.250
(23) $\cos \beta$	(24) $\sin \gamma$	(25) $\cos \gamma$	(26) $\lambda(\epsilon_0 - 1)$	(27) T	(28) $2\pi \eta T$	(29) V	(30) $\frac{V}{2}$	(31) Γ	(32) ΓT	(33) $\frac{dP}{dV}$
0.611	0.447	0.894	0.131	0.563	7.410	10.550	5.275	2.305	24.320	2.542
0.702	0.444	0.896	0.106	0.675	8.880	11.300	5.650	2.361	26.680	2.788
0.827	0.422	0.906	0.063	0.900	11.840	13.410	6.705	2.313	31.020	3.242
0.885	0.387	0.922	0.043	1.125	14.820	16.020	8.010	2.243	35.910	3.753
0.925	0.337	0.941	0.028	1.350	17.800	18.700	9.350	1.960	36.800	3.850
0.945	0.299	0.954	0.021	1.575	21.580	22.360	11.180	1.977	44.250	4.625
0.958	0.268	0.963	0.017	1.800	23.720	24.330	12.165	1.800	43.790	4.577
0.968	0.238	0.971	0.012	2.025	26.700	27.230	13.615	1.325	36.070	3.770
(34) $\frac{dT_0}{dT_0} = dT_0$	(35) $\frac{dS_0}{dS_0} = dS_0$	(36) ϵ_i	(37) $\epsilon_i dS_0$	(38) $\epsilon_i dT_0$	(39) $\frac{dT}{dT} = dT$	(40) $\frac{dS}{dS} = dS$	(41) $\frac{dT}{dT} = dT$	(42) λx	(43) $\frac{dT}{dT} = dT$	(44) $\frac{dS}{dS} = dS$
1.551	2.011	0.057	1.16	88	1.436	2.099	0.689	0.172	0.118	1.181
1.957	1.985	0.059	1.17	115	1.840	2.100	0.876	0.229	0.201	1.417
2.681	1.819	0.051	93	137	2.589	1.956	1.323	0.300	0.397	1.760
3.321	1.749	0.049	86	163	3.235	1.912	1.691	0.299	0.534	2.151
3.560	1.465	0.054	73	192	3.481	1.657	2.100	0.271	0.570	2.240
4.371	1.508	0.046	69	201	4.302	1.709	2.517	0.240	0.603	2.642
4.385	1.309	0.056	73	246	4.312	1.545	2.790	0.214	0.597	2.781
3.649	942	0.065	61	237	3.588	1.179	3.043	0.192	0.583	2.387

により計算する。なおその時には、 $\cos \gamma_r \approx 2$, $\sin \gamma_r = 1$ であることは勿論である。更に同表中 $b_{0r} \rightarrow \infty$ の場合 $r/R = 0.5 \sim 0.9$ の記述を省略したのは、Table 6 中の相対的推力増加が 0 となるからである。

3-3 Contrarudder と推進器の相互作用

(2.3.21) で表わされる $w(r')$ は一般的に積分困難なので、計算の便宜上各々 $\omega t = 0, \pi/6, \pi/3$ 及び $\pi/2$ について各半径毎に図式積分され、更に (2.3.22) で表わされる $w_m(r')$ も図式積分を行つた。

3-4 数値計算の結果

本計算を行つた船の主要目は Table 1 に示す通りであり、又推進器及び contrarudder の要目は Table 2 及び Table 3 に示してある。数値計算の条件及び結果は Table 7 に掲げてある。

TABLE V-1

(1) $\frac{1}{2} = \frac{r}{R}$	(2) λ	(3) $\phi_0 - \lambda$	(4) $4\pi n R (k\lambda)$	(5) $\sin \gamma_{cm}$	(6) $\frac{w}{U} = \frac{U}{U_0} \cos \delta$	(7) $\frac{v}{U} = \lambda 2\pi n R$	(8) $\tan \gamma$	(9) $\frac{w}{U} = \frac{U}{U_0} \tan \gamma$	(10) $U + w_a$	(11) $\frac{\lambda}{U} = \frac{U}{U_0} \frac{w}{U}$
0.25	0.043	0.082	4.854	0.339	1.935	1.274	0.500	3.470	5.244	2.708
0.30	0.064	0.080	4.740	0.348	1.884	2.043	0.446	3.800	5.843	3.100
0.40	0.120	0.066	3.908	0.382	1.442	3.554	0.466	3.205	6.764	4.632
0.50	0.150	0.060	3.552	0.356	1.263	4.450	0.420	3.010	7.460	5.900
0.60	0.163	0.053	3.140	0.317	0.995	4.834	0.358	2.749	7.618	7.652
0.70	0.168	0.051	3.021	0.285	0.861	4.980	0.313	2.750	7.730	8.975
0.80	0.171	0.052	3.080	0.258	0.744	5.070	0.278	2.855	7.925	9.999
0.90	0.173	0.047	2.871	0.231	0.642	5.125	0.245	2.620	7.745	12.040

TABLE V-2
FIRST STEP

(1) $\frac{1}{2} = \frac{r}{R}$	(2) $\phi_1 - \lambda_1$	(3) ϕ_1	(4) γ_1	(5) ϕ_1	(6) $\alpha_{1r} = \phi_1 - \gamma_1$	(7) $\frac{2D(\phi_1 - \lambda_1)}{1 + \phi_1 \lambda_1}$	(8) $\sqrt{1 - \left(\frac{2r}{R}\right)^2}$	(9) $C_{er} B_1$	(10) C_{er}	(11) α_{1r}
0.25	0.	2.708	64.73	87.25	17.52	0.	0.866	0.	0.	-8.65
0.30	0.	3.100	72.13	87.52	15.39	0.	0.917	0.	0.	-8.65
0.40	50.	54.632	88.35	88.01	-0.34	1.770	0.980	1.735	0.655	-1.80
0.50	-	-	-	88.68	-	-	1.000	-	-	-
0.90	-	-	-	90.00	-	-	0.600	-	-	-

TABLE V-3
2ND. STEP

(1) $\frac{1}{2} = \frac{r}{R}$	(2) $\phi_1 - \lambda_1$	(3) ϕ_1	(4) γ_1	(5) ϕ_1	(6) $\alpha_{1r} = \phi_1 - \gamma_1$	(7) $\frac{2D(\phi_1 - \lambda_1)}{1 + \phi_1 \lambda_1}$	(8) $\sqrt{1 - \left(\frac{2r}{R}\right)^2}$	(9) $C_{er} B_1$	(10) C_{er}	(11) α_{1r}
0.25	20.	22.708	87.48	87.25	-0.23	2.880	0.866	2.446	0.441	1.70
0.30	20.	23.100	87.52	87.52	0.00	2.480	0.917	2.273	0.858	0.38
0.40	100.	104.632	89.45	88.01	-1.44	1.851	0.980	1.813	0.685	-1.50
0.50	-	-	-	88.68	-	-	1.000	-	-	-
0.90	-	-	-	90.00	-	-	0.600	-	-	-

TABLE V-4
3RD. STEP

(1) $\frac{1}{2} = \frac{r}{R}$	(2) $\phi_1 - \lambda_1$	(3) ϕ_1	(4) γ_1	(5) ϕ_1	(6) $\alpha_{1r} = \phi_1 - \gamma_1$	(7) $\frac{2D(\phi_1 - \lambda_1)}{1 + \phi_1 \lambda_1}$	(8) $\sqrt{1 - \left(\frac{2r}{R}\right)^2}$	(9) $C_{er} B_1$	(10) C_{er}	(11) α_{1r}
0.25	30.	32.708	88.25	87.25	-1.00	3.030	0.866	2.612	0.986	2.58
0.30	30.	33.100	88.27	87.52	-0.75	2.605	0.917	2.390	0.902	1.02
0.40	200.	204.632	89.72	88.01	-1.71	1.844	0.980	1.860	0.702	-1.34
0.50	-	-	-	88.68	-	-	1.000	-	-	-
0.90	-	-	-	90.00	-	-	0.600	-	-	-

TABLE V-5.
FINAL CALCULATION

(1) $\frac{1}{2} = \frac{1}{R}$	(2) ϕ_r	(3) λ_r	(4) $\phi_r - \lambda_r$	(5) w_r	(6) $D \frac{w_r(\phi_r - \lambda_r)}{\sqrt{1 + \phi_r^2}}$	(7) $\sqrt{1 - (\frac{1}{R})^2}$	(8) Γ_r	(9) V_r
0.25	18.820	2.708	16.112	1.495	7.470	0.866	6.470	5.348
0.30	24.100	3.100	21.000	1.884	7.370	0.917	6.759	5.402
0.40	106.500	4.632	101.868	1.492	6.420	0.980	6.242	6.420
0.50	∞	5.900	∞	1.263	—	1.000	5.683	7.450
0.90	∞	12.040	∞	0.642	—	0.600	1.733	7.742
(10) $V_r \Gamma_r$	(11) $\frac{d\Gamma_r}{dV_r \Gamma_r}$	(12) $\cos \gamma_r$	(13) $\sin \gamma_r$	(14) dT_{or} $= d\Gamma_r \cos \gamma_r$	(15) dS_{or} $= d\Gamma_r \sin \gamma_r$	(16) E_{ir}	(17) $E_{ir} dS_{or}$	(18) dT_r $= dT_{or} - E_{ir} dS_{or}$
34.60	3.616	0.0531	0.999	1.42	3.612	0.025	90	102
34.88	4.170	0.0414	1.000	1.73	4.170	0.025	104	69
43.52	4.550	0.0045	1.000	43	4.550	0.025	114	-71
42.28	4.421	0	1.000	0	4.421	0.025	111	-111
13.41	1.402	0	1.000	0	1.402	0.025	35	-35

TABLE VI

(1) $\frac{1}{2} = \frac{1}{R}$	(2) ϕ_r	(3) Γ_r	(4) V_r	(5) $V_r \Gamma_r$	(6) $\frac{d\Gamma_r}{dV_r \Gamma_r}$	(7) dT_{or}	(8) E_{ir}	(9) $E_{ir} dS_{or}$ $= E_{ir} d\Gamma_r$	(10) dT_r $= dT_{or} - E_{ir} dS_{or}$	(11) ΔdT_r
0.25	∞	7.540	5.240	39.48	4.122	0	0.025	103	-103	205
0.30	∞	7.770	5.840	45.35	4.740	0	0.025	119	-119	188
0.40	∞	6.580	6.910	45.42	4.750	0	0.025	119	-119	48
0.50	∞	5.683	7.450	42.28	4.421	0	0.025	111	-111	0
0.90	∞	1.733	7.742	13.41	1.402	0	0.025	35	-35	0

TABLE I

PRINCIPAL PARTICULARS

SHIP'S NAME	H-23 AKIURA MARU		H-27	
HULL PARTICULARS				
LENGTH B.P	103.00 ^M		130.00 ^M	
BREADTH	15.40 ^M		18.20 ^M	
DEPTH	8.30 ^M		10.00 ^M	
GROSS TONNAGE	3760 ^T		ABOUT 6,650 ^T	
DEAD WEIGHT	5.410 ^T		ABOUT 4,350 ^T	
CONDITION	FULL LOADED	TRIAL	FULL LOADED	TRIAL
DRAUGHT	6.893 ^M	3.371 ^M	8.000 ^M	4.150 ^M
DISPLACEMENT	8,006 ^T	3,462 ^T	14,100 ^T	6,665 ^T
BLOCK COEF. C _b	0.718	0.653	0.725	0.660
PRISMATIC C _p	0.728	0.672	0.736	0.683
MIDSHIP C _m	0.985	0.972	0.985	0.970
CEN. OF GRAVITY FROM B.P.	0.85% F.	1.35% F.	0.10% A.	0.40% F.
MAX. TRIAL SPEED	14.986 ^{KTS} AT 2,480 SHP		16.5 ^{KTS} AT 5,200 SHP	
SERVICE	12.5 ^{KTS} AT 2,000 SHP		13.5 ^{KTS} AT 4,200 SHP	
MAIN ENGINE PARTICULARS				
MAIN ENGINE	MITSUBISHI IMPULSE REACTION TURBINE WITH DOUBLE RED GEAR		MITSUBISHI 7MS TYPE DIESEL	
	SHP	RPM	BHP	RPM
ECONOMICAL OUTPUT	2,000	111	4,200	120
NORMAL	2,400	117	4,700	125
MAX.	2,650	121	5,200	129
MAIN BOILERS	2-MITSUBISHI 5-DRUM WATER TUBE BOILER			

TABLE II PARTICULARS OF PROPELLERS

H-23 AKIURA-MARU

PROPELLER PARTICULARS

RADIUS	PITCH	PITCH R.
500	3.480	.684
700	3.770	.838
900	3.570	.743
1,100	3.430	.762
1,300	3.350	.744
1,500	3.330	.740
1,700	"	"
1,900	"	"
2,100	"	"
TP=2250	"	"

DIAMETER	4,500
BOSS RATIO	.216
EXP ^{ED} AREA R.	.400
MAX BLADE WR	.237
BLADE TH ^{ICK} R.	.0438
ANG. OF RAKE	10° 5'
NO. OF BLADE	4
DIRECTION OF TURN	RIGHT
MATERIAL	Mn Bt.

H-27

PROPELLER PARTICULARS

RADIUS	PITCH	PITCH R.
700	3.875	.775
900	3.675	.735
1,100	3.490	.698
1,300	3.395	.679
1,500	3.340	.668
1,700	"	"
1,900	"	"
2,100	"	"
2,300	"	"
TP=2500	"	"

DIAMETER	5,000
BOSS RATIO	.224
EXP ^{ED} AREA R.	.400
MAX BLADE WR	.234
BLADE TH ^{ICK} R.	.051
ANG. OF RAKE	11° 32'
NO. OF BLADE	4
DIRECTION OF TURN	RIGHT
MATERIAL	Mn Bt.

TABLE. II PARTICULARS OF CONTRA RUDDERS

H-23 AKIURAMARU CONTRA RUDDER PARTICULARS

AREA FOR P ₀ OF FINITE: A ₁	3.25 m ²
AREA AT P ₀ OF FINITE: A ₂	8.50 "
TOTAL AREA: A	11.75 "
RUDDER AREA R: A ₁ /A	1/59.6
THICKNESS RATIO	0.20
ASPECT RATIO	1.74

H-27 CONTRA RUDDER PARTICULARS

AREA FOR P ₀ OF FINITE: A ₁	1.52 m ²
AREA AT P ₀ OF FINITE: A ₂	13.78 "
TOTAL RUDDER AREA: A	15.30 "
EFFECTIVE TOTAL R. A ₁	19.42
INCLUDING RUDDER POST: A ₂	1/67.9
RUDDER AREA R: A ₁ /A	1/53.6
THICKNESS RATIO	0.20
ASPECT RATIO	1.53

4. 結 論

(i) 数値計算の結果は, contra-rudder を装備すれば, 普通の流線型舵を装備した場合に比して, 安芸浦丸では約 2.5%, H-27 番船では約 1.5% の推力増加を来すことが判つた。両船におけるこの差異は, 両船の状態にもよるのであるが, 更に両船の推進器, contrarudder の組合せの設計によるものと思われる。如何なる組合せを撰定すれば最大の推力増加を得られるかについては将来の研究にまちたい。なお約 1~3% の推力増加を来すことは, 従来実験的に確められたことと一致する。

(ii) 2.3 で考慮した contrarudder と推進器の相互作用に基づく推力変化は, 半径方向には相当生ずるけれども,

之を積分した場合の全体的推力減少は非常に小さく約 0.1% 程度であることが判つた。

(iii) 従つて contrarudder を装備した場合, 推進器自身の効率には殆んど変化を考えなくて良いと思われる。

(vi) 以上の結論は, 実験的にも確められねばならぬことは勿論であるが, 理論的にはこの問題の解決の一手段を与えるものと思われる。

最後に本論文を草するに当つて御指導を賜つた当所造船設計課, 笹原課長, 水上技師, 三沢技師に厚く御礼申し上げます。更に安芸浦丸並びに H-27 番船の推進器, 舵の設計に当られた船舶試験所々長に対し, それらの設計の一部の公表を許可されたことを厚く御礼申し上げます。

(以上)

参 考 文 献

- (1) H. B. Helmbold: Die Betz-Prandtl'sche Wirbeltheorie der Treib-schraube und ihre Ausgestaltung zum technischen Brechnungsverfahren (Werft Reederei Hafen, 1926)
- (2) H.B. Helmbold und H.Lerbs: Modelversuche zur Nachprüfung der Treibschrauben-Wirbeltheorie (Werft Reederei Hafen, 1927)
- (3) Van Lammern: The Design and Calculation of Cavitation-free Wake-propellers (Netherland Experiment Tank, Wagenengen Publication, No. 26 a)
- (4) 山県昌夫: 船舶の推進 (船舶第 23 号)
- (5) 山県昌夫: 船体, プロペラ, 舵の相互作用に就て (機械学会誌昭和 13 年 12 月)
- (6) H. Shiba: Some Experiments on the Interaction between propellers and rudders (造船協会々報, 昭和 10 年 12 月)
- (7) 北島泰蔵: 単螺旋模型船の推進器位置に於ける伴流係数の推定法 (造船協会雑誌第 266 号昭和 19 年 5 月)
- (8) 菅四郎, 梅沢春雄: 四翼推進器の単独試験 (造船協会々報, 昭和 15 年 12 月)

TABLE VII

CONDITIONS OF CALCULATION				
CALCULATION ORDER	1	2	3	4
SHIP'S NAME	AKIURA-MARU	H-27		
DRAUGHT, d^h	3.371	6.800	4.150	8.000
DISPLACEMENT, Δ^h	3,462	7,450	6,665	14,120
BLOCK COEF. C_b	0.653	0.718	0.660	0.736
SHIP'S SPEED, V_s	15.0	13.0	17.0	14.5
ENG. REVOLUTION P.M. N	126.0	117.0	136.0	125.0
RESULTS OF CALCULATION				
PROPELLER THRUST, T_p^{**}	18,820	17,025	31,450	25,285
" TORQUE, M_p^{***}	12,710	12,020	25,605	22,155
" DELIVERED H.P. DHP	2,236	1,968	4,805	3,865
" EFFICIENCY η_p	0.560	0.611	0.559	0.584
PROPULSIVE EFF. η	0.816	0.771	0.774	0.743
THRUST GAIN, ΔT_p^{**}	430	462	453	294
THRUST REDUCTION, T_r^{**}	- 24	- 29	- 28	- 18
TORQUE INCREASING, M_p^{***}	35	39	40	26
TOTAL THRUST, T^{**}	19,226	17,458	31,875	25,561
TOTAL TORQUE, M^{***}	12,745	12,059	25,645	22,181
THRUST GAIN, %	2.16	2.54	1.35	0.09
TORQUE INCREASING, %	0.28	0.32	0.16	0.12
PROPELLER EFF. WITH CONTRARUDDER, η	0.570	0.625	0.566	0.540