

漁船の荒天時操船に対するシーアンカーの効果

高石 敬史*

On the Effectiveness of Sea-Anchor upon the Steering Ability of Fishing Boats

By

Yoshifumi Takaishi

Fishing boats use a sea-anchor to keep bow close to wind, when it is blowing too strong to steer only with a rudder and a propeller. The necessary area of a sea-anchor depends upon the size as well as the form of the ship.

In this paper, the steady state under the equilibrium of aero- and hydrodynamic forces and moments by wind, drift of the ship and a sea-anchor is considered, and the equations of equilibrium are solved using the forces measured on the model ships.

Thus, a simple formula is derived to estimate the necessary area of a sea-anchor, that is:

$$A_D = (k B / C_D) \{0.0055(90 - \varphi) + \overline{c_b c_a} / L\}.$$

目 次	
緒 言.....	2
1. 船体に働く風圧力と水圧力.....	2
2. 釣合条件を求める方法.....	3
3. 計 算 例.....	4
4. シーアンカーの必要面積に対する考察.....	6
結 言.....	8
参 考 文 献.....	9
付 録.....	10

Nomenclatures

A_D : Area of Sea-Anchor
 D : Drag of Sea-Anchor
 F_R : Transverse Rudder Force
 L_x : Longitudinal Water Force
 L_y : Transverse Water Force
 M_a : Wind Moment
 M_w : Water Moment
 N : Number of Revolutions of Propeller
 P : Pitch of Propeller
 R_x : Longitudinal Wind Force
 R_y : Transverse Wind Force
 T : Thrust of Propeller
 U : Velocity of Wind

V : Velocity of Drifting Ship
 c_a : Position of the Centre of Area of Ship's Profile Above the Water-Line
 c_b : Position of the Centre of Area of Ship's Profile Under the Water-Line
 k : Constant
 l_R : Distance of the Rudder from the Midship
 l_a : Distance of the Centre of Wind Force from the Midship
 l_b : Distance of the Centre of Drifting Force from the Midship
 l_f : Distance of the Towing Point of Sea-Anchor from the Midship
 α : Drift Angle of Ship
 β : Towing Angle of Sea-Anchor

* 運動性能部
 原稿受付 昭和 45 年 3 月 13 日

- δ : Rudder Angle
 λ : Distance Between the Centres of Wind and Water Force
 λ_0 : λ at α and $\varphi=90$ deg.
 φ : Relative Wind-Direction
 ρ_a : Density of Air
 ρ_w : Density of Water

緒言

漁船のような小型船が強風下において安全を保つためには、風によって船首が風下に落とされないようにすることが肝要である。強風下で船首を風上に立てる手段としてプロペラと舵を用いるのが普通の操船方法であるが、そのほかにシーアンカーを船首から流すのが有効であると言われている。シーアンカーを用いる場合は、プロペラと舵だけで操船する場合と異なり、エンジンは止めるか微速回転にして或る程度船体が風圧力によって流される様に操船する。エンジンや舵に故障を生じた場合、このようにシーアンカーを用いる方法が有効であると思われるが、そのためには船の大きさや船型に応じて適切な大きさのシーアンカーを用いることが必要である。シーアンカーの必要面積についての研究としては、著者の知るところでは、藤倉航装株式会社の社内資料¹⁾と、長田、吉川両氏による研究²⁾とがあり、前者は船体中央部に対する風圧の回頭モーメントに釣合うシーアンカーの回頭モーメントを、かつをまぐる漁船に対する風圧力のデータ³⁾を用いて計算し、実用の指針を求めたものであり、後者は船体に加わる水圧力と風圧力の3方向の成分の釣合の条件式を立て、かつを釣る漁船に対するデータ⁴⁾を用い、図式解法により必要なシーアンカーの大きさを求めている。いずれの場合も、船体に加わる風圧力と水圧力に関するデータが、出会角 $0^\circ \sim 180^\circ$ にわたる範囲で知れている必要がある。著者は、3隻の漁船々型についてこれらの力を求める模型試験をおこない、その結果を用いて、シーアンカーを用いて漂ちゅうしている船体に働く力の平衡式を数値的に解き、シーアンカーの必要面積を求めた。

そしてこれらの結果を考察し、シーアンカーの必要面積を推定するための実用式を導いた。

1. 船体に働く風圧力と水圧力

Fig. 1 に示すように、船首方向 (x 軸) と φ の角度の方向から U の風速の風を受ける船体が、 x 軸と

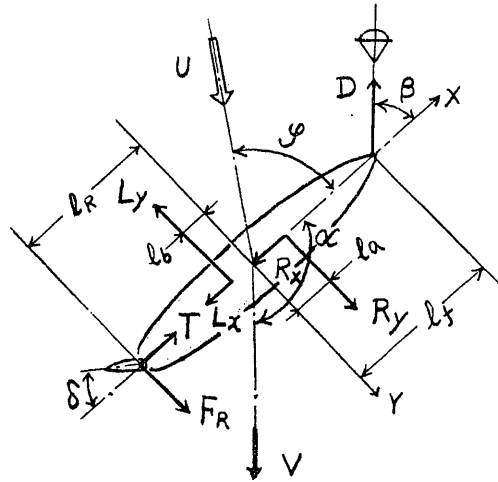


Fig. 1 Wind- and Water- Forces and Moments Acting on a Ship Drifting in Wind

α の角度の方向に、 V の速度で漂流するとする。船体に加わる風圧力および水圧力を、 x 軸方向、 y 軸方向および z 軸まわりの3成分に分け、それぞれ R_x , R_y , M_a および L_x , L_y , L_w とする。プロペラの推力を T 、舵角 δ による舵の横力を F_R とし、 x 軸と β の角度で船首から曳航されるシーアンカーの張力を D とする。

風および船体運動を定常であるとしたから、3方向の力の釣合条件式は (1) 式のように書かれる。

$$\left. \begin{aligned} -L_x - R_x + T + D \cos \beta &= 0 \\ -L_y + R_y + F_R - D \sin \beta &= 0 \\ -M_w - M_a + F_R \cdot l_R + D \cdot l_T \sin \beta &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

定常状態では船の漂流方向とシーアンカーの曳航の方向との間には

$$\beta = \pi - \alpha \quad (2)$$

の関係があると考えてよい。

(1) 式の中の諸力を無次元化して次式のように表現する。

$$\left. \begin{aligned} C_{R_x} &= R_x \left/ \left(\frac{1}{2} \rho_a U^2 B \right) \right. \\ C_{R_y} &= R_y \left/ \left(\frac{1}{2} \rho_a U^2 B \right) \right. \\ C_{M_a} &= M_a \left/ \left(\frac{1}{2} \rho_a U^2 B L \right) \right. \\ C_{L_x} &= L_x \left/ \left(\frac{1}{2} \rho_w V^2 S \right) \right. \\ C_{L_y} &= L_y \left/ \left(\frac{1}{2} \rho_w V^2 S \right) \right. \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} C_{M_w} &= M_w \left(\frac{1}{2} \rho_w V^2 S L \right) \\ K_T &= T / (\rho_w N^2 D_p^4) \\ C_R &= F_R \left(\frac{1}{2} \rho_w N^2 P^2 A_R \delta \right) \\ C_D &= D \left(\frac{1}{2} \rho_w V^2 A_D \right) \\ \lambda_a &= l_a / L \\ \lambda_b &= l_b / L \\ \lambda_f &= l_f / L \\ \lambda_R &= l_R / L \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

2. 釣合条件を求める方法

(2)式, (3)式を用いて(1)式を書き直すと次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} -C_{L_x} - \left\{ \frac{\rho_a}{\rho_w} \frac{B}{S} C_{R_x} - \frac{D_p^2}{S} \frac{K_T}{p^2} \left(\frac{NP}{U} \right)^2 \right\} \\ \times \left(\frac{U}{V} \right)^2 - \frac{A_D}{S} C_D \cos \alpha = 0 \\ -C_{L_y} + \left\{ \frac{\rho_a}{\rho_w} \frac{B}{S} C_{R_y} + \frac{A_D}{S} C_R \delta \left(\frac{NP}{U} \right)^2 \right\} \\ \times \left(\frac{U}{V} \right)^2 - \frac{A_D}{S} C_D \sin \alpha = 0 \\ -C_{M_w} - \left\{ \frac{\rho_a}{\rho_w} \frac{B}{S} C_{M_a} - \frac{A_R}{S} C_R \delta \lambda_R \right. \\ \left. \left(\frac{NP}{U} \right)^2 \right\} \times \left(\frac{U}{V} \right)^2 + \frac{A_D}{S} C_D \lambda_f \sin \alpha = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

あるいは

$$\left. \begin{aligned} -C_{L_x} - (C_1 C_{R_x} - C_i \zeta) \xi - \eta \cos \alpha = 0 \\ -C_{L_y} + (C_1 C_{R_y} + C_r \zeta) \xi - \eta \sin \alpha = 0 \\ -C_{M_w} - (C_1 C_{M_a} - \lambda_R C_r \zeta) \xi + \eta \lambda_f \sin \alpha = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} C_1 = \frac{\rho_a B}{\rho_w S}, \quad C_i = \frac{D_p^2 K_T}{S p^2}, \quad C_r = \frac{A_R}{S} C_R \delta \\ \xi = \left(\frac{U}{V} \right)^2, \quad \eta = \frac{A_D}{S} C_D, \quad \zeta = \left(\frac{NP}{U} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

(5)式のなかで, 未知数は α と ξ の2つであり, δ , ζ および η は船が選ぶことのできる値であるから, δ , ζ , η のうちの2つの量を与えられれば, 残りの1つは, (5)式を解いて α と ξ とともに求められる。以下いくつかの場合の計算法を述べる。

(1) 「プロペラ回転数および舵角を一定に保つとき, 船首を風向に対して一定の角度に保つに必要なシ

アンカー面積を求める方法」

この場合は, δ , ζ が一定値をとるから, η , ξ および α を未知数として(5)式を解けばよい。

$$\left. \begin{aligned} C_{R_x} - \frac{C_i}{C_1} \zeta \equiv C_{R_x}' \\ C_{R_y} + \frac{C_r}{C_1} \zeta \equiv C_{R_y}' \\ C_{M_a} - \frac{C_r}{C_1} \lambda_R \zeta \equiv C_{M_a}' \end{aligned} \right\} \dots\dots (7)$$

とおくと, (5)式は

$$\left. \begin{aligned} -C_{L_x} - C_1 C_{R_x}' \xi - \eta \cos \alpha = 0 \\ -C_{L_y} + C_1 C_{R_y}' \xi - \eta \sin \alpha = 0 \\ -C_{M_w} - C_1 C_{M_a}' \xi + \eta \lambda_f \sin \alpha = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (8)$$

となる。

この第2式から

$$\xi = (C_{L_y} + \eta \sin \alpha) / (C_1 C_{R_y}') \dots\dots (9)$$

(9)式と(8)式の第1式から

$$C_{L_x} C_{R_y}' + C_{L_y} C_{R_x}' + \eta (C_{R_x}' \sin \alpha + C_{R_y}' \cos \alpha) = 0$$

または

$$\eta = -(C_{R_x}' C_{L_y} + C_{R_y}' C_{L_x}) / (C_{R_x}' \sin \alpha + C_{R_y}' \cos \alpha) \dots\dots (10)$$

を得る。(10)式と, (9)式および(8)式の第3式とから, α を未知数とする次の式を得る。

$$\left. \begin{aligned} F(\alpha) \equiv (\lambda_a + \lambda_b) C_{L_y} (C_{R_x}' \sin \alpha + C_{R_y}' \cos \alpha) \\ - (\lambda_a - \lambda_f) (C_{R_x}' C_{L_y} + C_{R_y}' C_{L_x}) \sin \alpha = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

この式を数値的に解くため, α の $0^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で $F(\alpha)$ を計算し, $F(\alpha) = 0$ となる α の値を補間法で求める。この α を用いて(10)式から η を求め, α と η を用いて(9)式から ξ が求められる。

(2) 「ある大きさのシーアンカーを用い, 舵角を最大までとる場合に, 釣合が保たれる風速はいくらか」

この場合は, $\eta = \text{常数}$ であるから(5)式を書き直して次式のような表現にする。

$$\left. \begin{aligned} -(C_{L_x} + \eta \cos \alpha) - (C_1 C_{R_x} - C_i \zeta) \xi = 0 \\ -(C_{L_y} + \eta \sin \alpha) + (C_1 C_{R_y} + C_r \zeta) \xi = 0 \\ -(C_{M_w} - \eta \lambda_f \sin \alpha) - (C_1 C_{M_a} - \lambda_R C_r \zeta) \xi = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (12)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} C_{L_x} + \eta \cos \alpha = C_{L_x}' \\ C_{L_y} + \eta \sin \alpha = C_{L_y}' \\ C_{M_w} - \eta \lambda_f \sin \alpha = C_{M_w}' \end{aligned} \right\} \dots\dots (13)$$

とおくと, (12)式は次のように書かれる。

$$\left. \begin{aligned} -C_{Lx}' - (C_1 C_{Rx} - C_i \zeta) \xi &= 0 \\ -C_{Ly}' + (C_1 C_{Ry} + C_r \zeta) \xi &= 0 \\ -C_{Mw}' - (C_1 C_{Ma} - \lambda_r C_r \zeta) \xi &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (14)$$

この式から α , ζ および ξ の値を求めればよいが, そのため(14)式の第1式と第2式とから ξ を消去すると,

$$\zeta = -C_1 (C_{Lx}' C_{Ry} + C_{Ly}' C_{Rx}) / (C_r C_{Lx}' - C_i C_{Ly}') \dots\dots (15)$$

また, ζ を消去すると,

$$\xi = -(C_r C_{Lx}' - C_i C_{Ly}') / \{C_1 (C_r C_{Rx} + C_i C_{Ry})\} \dots\dots (16)$$

を得る。(15), (16) 式を (14) 式の第3式に代入すると, α を未知数とする次式を得る。

$$\begin{aligned} F(\alpha) &\equiv C_{Mw}' (C_r C_{Rx} + C_i C_{Ry}) \\ &\quad - C_{Ma}' (C_r C_{Lx}' - C_i C_{Ly}') \\ &\quad - \lambda_r C_r (C_{Lx}' C_{Ry} + C_{Ly}' C_{Rx}) = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

これを数値解法で解き α を求めれば, (15), (16) 式から漂流速度 (V/U) と, 限界風速 ($U/(NP)$) が求まる。

(3) 「シーアンカーを用いないで, プロペラとかじによって釣合を保つ場合の限界風速を求める」

(5) 式からシーアンカーの力をのぞくと次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} -C_{Lx} - (C_1 C_{Rx} - C_i \zeta) \xi &= 0 \\ -C_{Ly} + (C_1 C_{Ry} + C_r \zeta) \xi &= 0 \\ -C_{Mw} - (C_1 C_{Ma} - \lambda_r C_r \zeta) \xi &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (18)$$

これは (14) 式と同形であるから, (2) で述べた方法

で解ける。

3. 計算例

前章 2. (1) に述べた方法を用いて, Table 1 に示す 3 隻の漁船について, 釣合を保つに必要なシーアンカーの面積を計算する。これらの船体に加わる風圧力および水圧力の係数は, いずれも長さ 2m の模型船 (Fig. 2, 3 および 4) を用いて送風装置つき水槽における模型試験で求められた。これらの係数は, 付録の Table A1~A5 および Fig. A1~A6 に示される。計算の対象となった船の漂ちゅう時の操船方法として次の 2 つの場合をとる。

a) プロペラを使用せずシーアンカーのみで漂ちゅうする場合。

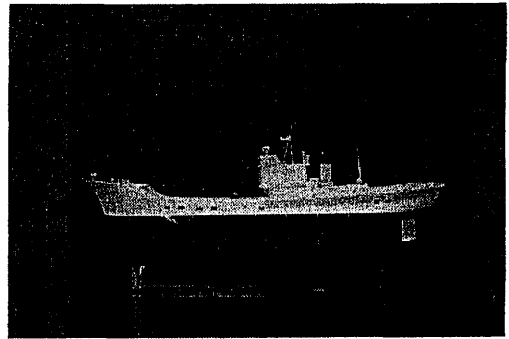


Fig. 2 Model Ship of Type A, Drift Netter

Table 1 Dimensions of the Tested Ships

ITEMS		SHIP-A	SHIP-B	SHIP-C
LENGTH Bet P.P.	L (m)	27.800	29.500	29.000
BREADTH MLD.	B_0 (m)	6.100	6.300	6.360
DRAFT FORE	d_f (m)	1.370	2.188	1.430
DRAFT AFT	d_a (m)	3.240	3.366	3.380
DRAFT MEAN	d_m (m)	2.305	2.777	2.405
DISP. VOLUME	V (m ³)	272	365	308
PROJECTED AREA (ABOVE WATEL LINE)				
FRONT VIEW	A (m ²)	31.7	34.3	31.6
PROFILE	B (m ²)	90.2	100.0	100.9
(UNDER WATER LINE)				
PROFILE	S (m ²)	64.3	81.8	69.9
DIA. OF PROPELLER	D_p (m)	1.64	1.74	1.71
PITCH RATIO OF PROP.	p	0.56	0.56	0.56
RUDDER AREA	A_R (m ²)	2.64	2.08	2.28

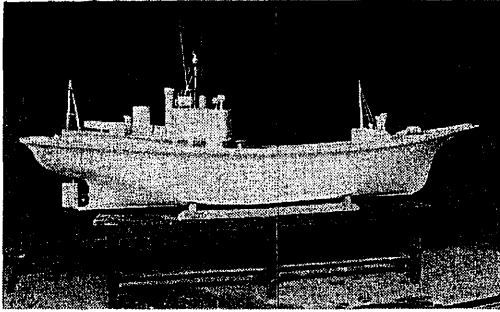


Fig. 3 Model Ship of Type B, Bonito Pole Fishing Boat

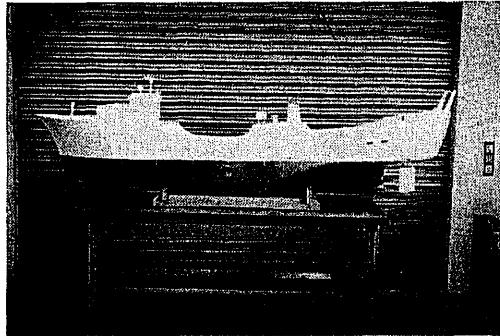


Fig. 4 Model Ship of Type C, Two-Boat Stern Trawler

b) プロペラの回転数と風速の比を一定の割合に保ち、舵角を 10° までとり、かつシーアンカーを用いる場合。ここでプロペラの回転数と風速の比は $NP/U = 0.1$ とした。また、プロペラの推力係数および舵の

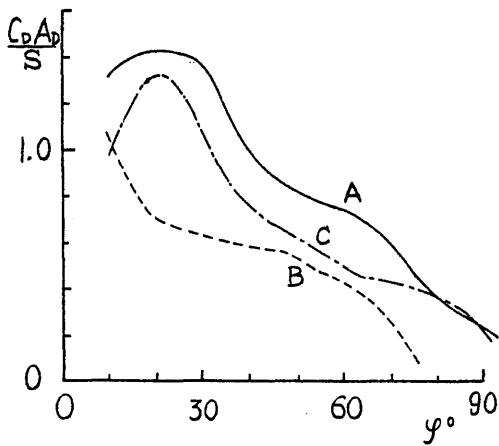


Fig. 5 Necessary Area of Sea-Anchor Using No Propeller

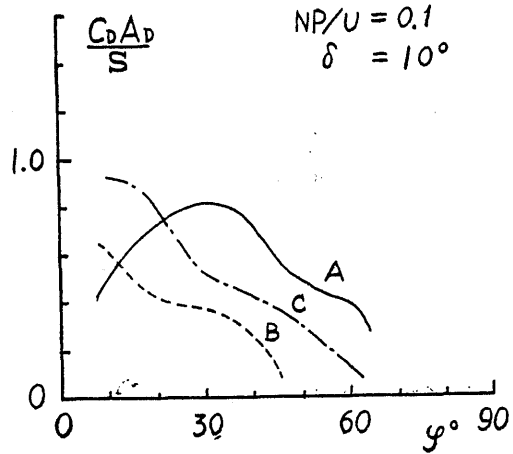


Fig. 6 Necessary Area of Sea-Anchor Using Propeller

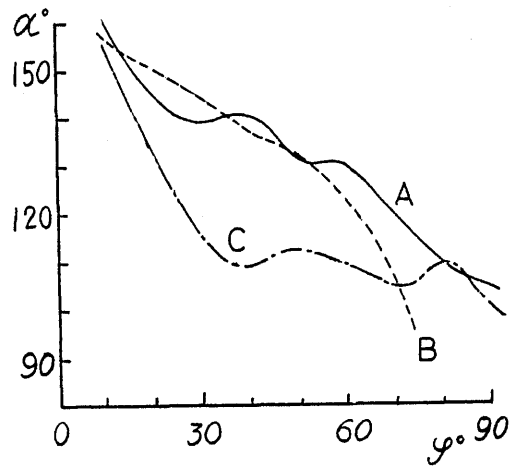


Fig. 7 Drift Angle of the Ship Using No Propeller

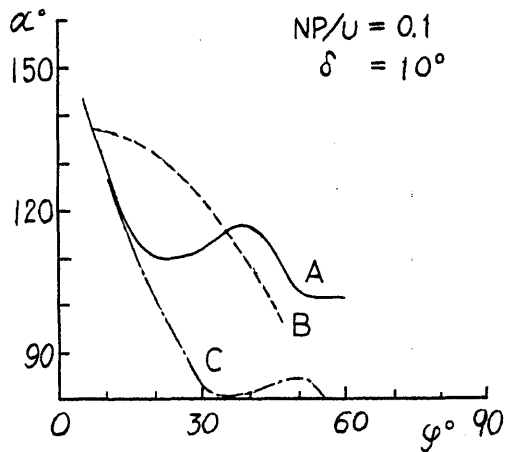


Fig. 8 Drift Angle of the Ship Using Propeller

横力係数は、船の前進速度が小さいとして、プロペラのスリップが 100% の場合の値を矢崎⁵⁾ および志波⁶⁾ の論文から読みとり利用した。すなわち、 $K_T=0.236$ 、 $C_R=0.01$ とした。(付録参照)

計算の結果を Fig. 5~Fig. 13 に示す。このうち、Fig. 5~Fig. 6 は、船首を風向に対して一定の角度 φ を保つに必要なシーアンカーの有効度を示し、Fig. 7~Fig. 8 は、そのときの船の漂流方向を、Fig. 9~

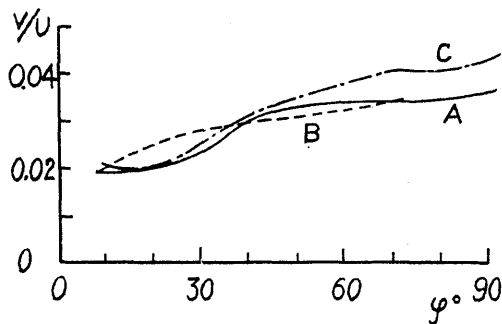


Fig. 9 Drifting Velocity of the Ship Using No Propeller

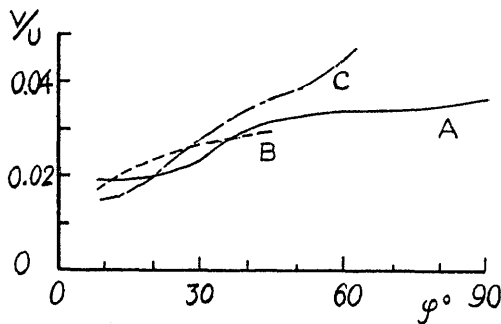


Fig. 10 Drifting Velocity of the Ship Using Propeller

Fig. 10 は漂流速度を示したものである。

計算の結果から、これらの船型に対するシーアンカーの効果に関して次のような点がわかる。

(1) シーアンカーの必要面積は、風速には無関係である。

(2) シーアンカーの必要面積は、相対風向角が大であれば小さくなる。

(3) シーアンカーだけを頼って船首を風に立てる場合に比べて、プロペラとかじの制御力を併用する場合はシーアンカーの必要面積をかなり小さくできる。

(4) 船体の漂流方向は風向と必ずしも一致しない、すなわちシーアンカーの曳航方向は風の吹いて来る方向と一致しないが、シーアンカーだけを用いる場合に比べて、プロペラとかじを併用する場合はかじの横力により船体の横漂流が増す。

(5) 船体の漂流速度は風速の 1/50 から 1/30 程度である。

(6) 船型による違いを見ると、A, C, B の順で必要なシーアンカー面積が大きい。これは、水線上船体に対する風圧中心と、水線下船体に対する水圧中心の相対的位置に影響されていると考えられる。これについては次章でさらに考察を加える。

3 隻の船型に対して、相対風向を 30° および 40° に保持するために必要なシーアンカーの面積を、Fig. 5~7 から読みとった値から調べてみると、Table 2 のようになる。ここで、シーアンカーの抵抗係数 C_D の値として、最近よく用いられるようになったパラシュート型シーアンカーに対する模型実験値⁷⁾ の平均値 1.5 をとった。

4. シーアンカーの必要面積に対する考察

Table 2 Necessary Area of a Sea-Anchor to Keep Bow within 40 deg. Against Wind Direction, $C_D=1.5$

SHIP	CASE	NP/U	δ	$\varphi=30^\circ$		$\varphi=40^\circ$	
				$A_D C_D/S$	A_D (m ²)	$A_D C_D/S$	A_D (m ²)
A	a	0	0	1.36	58	1.00	43
	b	0.1	10°	0.82	35	0.72	31
B	a	0	0	0.63	34	0.58	32
	b	0.1	10°	0.37	20	0.25	14
C	a	0	0	1.06	49	0.75	35
	b	0.1	10°	0.52	24	0.42	20

前章において、3隻の漁船々型について、船首を風向に対して一定の角度を保持するため必要なシーアンカーの面積を、風圧下の船体運動における定常的な流体力の静的な釣合条件から求めた。その際、船体に加わる風圧力と水圧力とはいずれも模型試験から得た値を用いている。

必要なシーアンカー面積を求める場合、このようにいちいち特定の船型について模型試験を行なうことは実際的ではない。そこで、もしこれまでに計算した3隻の船に対する結果から、ある程度一般的な結論が得られれば好都合である。その試みの1つとして、水圧中心と風圧中心との距離と、シーアンカーの必要面積との関係を調べる。

まず、Fig. 11 に、3隻の船に対する風圧中心および水圧中心をそれぞれ相対風向および漂流角に対してえがいた。なお同図中で、A船とC船の水圧中心は、付録に示すように同一の値となるので一本の実線で示されている。このとき風向角 φ と、漂流角 α とは

$$\alpha = 180^\circ - \varphi \quad \dots\dots (19)$$

の関係にとった。

いまある1隻の船について、Fig. 11 中の同じ横軸の位置で風圧中心と水圧中心との距離 λ を考えると、風向と船の漂流方向が一線上にある場合には風圧による回頭モーメントは λ に比例し、したがって必要なシーアンカー面積も λ に比例するであろう。そこで、3隻の船について、 φ が $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots, 90^\circ$ における λ を Fig. 11 から、その φ における必要なシーアンカー面積を Fig. 5 からそれぞれ読みとり、両者

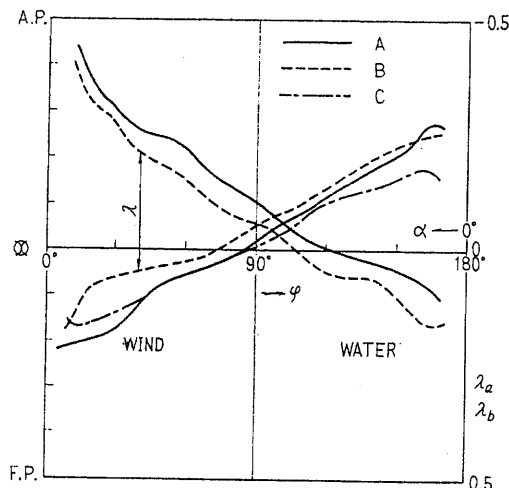


Fig. 11 Center of Pressure by Wind and Drift

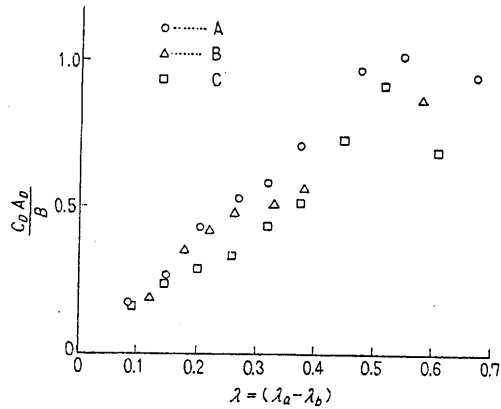


Fig. 12 Necessary Area of Sea-Anchor Against λ

の関係を Fig. 12 に示した。ここで横軸には λ を、縦軸には $C_D A_D / B$ をとった。ここで分母を B に変えたのは、 $C_D A_D / S$ をとった場合より船型によって点が散らばらないからである。Fig. 12 を見ると、船によっていくらか差があり、点はある範囲にばらついてはいるが、 λ に対してほぼ比例する傾向を示している。点のばらつきの理由は、実際の漂流角が風向と一直線上にないため、SHIP-C (以西底曳網漁船) でそれが最も著しい。

Fig. 11 を見ると、2隻の船の水圧中心を表わす2本の線がほぼ平行であり船尾トリムの大きいA船の方がB船より水圧中心が後方にあることがわかる。また、風圧中心はB船とC船とほぼ平行な線で表わされ、甲板室が後方にあるB船の方が風圧中心が後方にあることがわかる。A船の風圧中心の線は他の2隻のそれに対し平行からやや外れている。

さて、Fig. 11 から、 φ (または α) の変化量 φ' に対する λ の変化の様子をみると、3隻の船に対して共通に、ほぼ次式の関係がある。

$$\lambda = 0.0055 \varphi' \quad \dots\dots (20)$$

したがってある φ の値、例えば $\varphi = 90^\circ$ における λ の値 (λ_0 とする) が判れば、任意の φ に対する λ の値は次式で求まることになる。

$$\lambda = 0.0055(90^\circ - \varphi) + \lambda_0 \quad \dots\dots (21)$$

そこで模型試験で求めた λ_0 の値と、その船の投影側面積の風圧および水圧面積のそれぞれの中心間の距離 $\overline{c_a c_b} / L$ とを比較すると、Table 3 のようになる。

$$\lambda_0 \approx \overline{c_b c_a} / L \quad \dots\dots (22)$$

とえてもよい。

Table 3 Horizontal Distance Between Centers of Pressure of Wind and Drift Force Compared With the Horizontal Distance Between Centers of Area Above and Under Water-Line

SHIP	A	B	C
λ_0	0.080	0.010	0.090
$\overline{c_b c_a}/L$	0.056	0.016	0.081

Fig. 12 から, 必要なシーアンカー面積は λ に比例するとしてよい。すなわち

$$C_D A_D / B = k \lambda \quad \dots (23)$$

と表わされる。ここに比例常数 k は船型で異なるが, A船とB船ではほぼ同じ値 $k=1.9$ を, C船では $k=1.5$ をとればよい。(21), (22), (23)式から, 必要なシーアンカー面積を求める簡易式が次のように求まる。

$$A_D = (B/C_D) k \{0.0055(90 - \varphi) + (\overline{c_b c_a}/L)\} \quad (24)$$

ここで φ は相対風向角で degree の単位で表わされるが, この式の成立範囲は, Fig. 11 からみて

$$30^\circ < \varphi < 90^\circ \quad \dots (25)$$

であろう。

この式が3隻の船型に対してどれ程あてはまるかを見るために $A_D C_D / S$ の形に直すとそれぞれ次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \text{A船: } A_D C_D / S &= 1.466 - 0.0146\varphi \\ \text{B船: } A_D C_D / S &= 1.19 - 0.0127\varphi \\ \text{C船: } A_D C_D / S &= 1.48 - 0.0151\varphi \end{aligned} \right\} (26)$$

これを Fig. 5 と比べると Fig. 13 のようになる。それによれば, $\varphi=40^\circ$ で, 両者の差は $\pm 10\%$ 程度以下にある。したがって, (24)式は十分実用になると考える。

結 言

強風下で, 船首からシーアンカーを曳航しながら漂ちゅうする漁船に働く, 風圧力および水圧力の釣合の式を数値的に解く方法を述べ, 3隻の船型についての流体力の模型試験結果を用い, 必要なシーアンカー面積, 漂流角, 漂流速度を相対風向角に対して計算した。

3隻に対する結果から, これらの船型に共通な実用式を導いた。この式では水線上下の船体投影側面積の面積中心の水平距離がわかればよいので, 他船型に対しても用いることができるものと思われる。

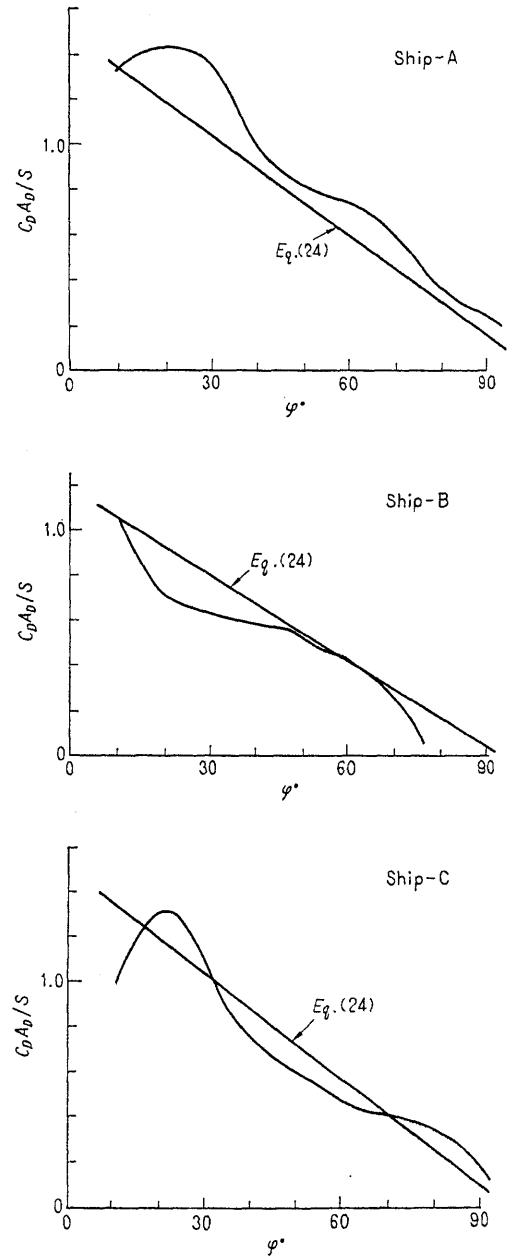


Fig. 13 Comparison of the Necessary Area of Sea-Anchor Estimated by Eq. (5) and Eq. (24)

本方法でなお未解決の点は, 次のような点である。

- (1) 計算に模型試験値を用いているが, これが実船との相関はどうか。
- (2) 現実の海面では風速は変動し, かつ波浪も存在するので, 船体運動を動的に取り扱う必要がある。

これらの点はさらに研究をすすめて行く必要があるが、実船における使用実績の集積によりある程度明らかになるものと思う。

本研究は、日本海難防止協会のシーアンカー研究委員会による「シーアンカーの使用標準に関する研究」(昭和43年,44年)に協力して行なわれたものである。

種々御討論をいただき、また貴重な資料を利用させていただいた、同委員会(委員長は元良誠三東大教授)の委員の方々に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 藤倉航装株式会社: シーアンカーの設計および適用基準, 日本海難防止協会シーアンカー研究委員会資料, 昭和43年, 44年
- 2) 長田光洋, 吉川隆久: Sea Anchor による漂溺の研究, 大阪大学工学部造船学科卒業論文(昭和42年度)
- 3) 木下昌雄, 花岡達郎, 中島康吉: かつお・まぐろ漁船の操縦性に及ぼす風圧の影響について, 造船協会論文集86号(後編), 昭和29年, pp. 317
- 4) 高石敬史: 強風中における漁船の操縦性, 船舶技術研究所研究発表会(第7回)講演概要, 1966, pp. 54
- 5) 矢崎敦生: AU型プロペラ設計法に関する研究, 運輸技術研究所報告, 第11巻第7号, 1961
- 6) 志波久光: 模型試験による舵の研究, 造船協会論文集, 第106号, 昭和35年
- 7) Y. Takaishi, T. Tsuji: A New Method of Model Test about Wind Forces Affecting on the Maneuverability of Ship, Contribution to the 12th International Towing Tank Conference, Rome, 1969

付録 船体に働く風圧力と水圧力の実験値

3隻の漁船々型に働く風圧力と水圧力とは、長さ2mの模型船を用いて送風機つき水槽で求められた。すなわち、上部構造を備えた模型船を水槽に浮かべ、水平面内の3分力を測定する動力計に取り付ける。この模型に、水槽水面上に設けられた送風機から一定風のを当て3分力を測定すれば風圧力が求まる⁷⁾。また、3分力計は曳航台車に取り付けられているから、船体をそのまま斜航させれば水圧力の3分力が求まる。

測定された3分力は、(3)式によって無次元係数に直される。風圧力係数をTable A1~A3に、水圧力係数をTable A4およびA5にそれぞれ示す。またこれらを図に示すとFig. A1~A6のようになる。ここで、 C_{L_x} はA船のみで測定されたので、これを3船共通として用い、 C_{L_y} および C_{M_w} は、試験の際A船とC船の水線下船体を共用したので、同じ値となっている。また φ と α の角度は、Fig. 1に示すように船首に対してそれぞれ左舷および右舷へ別々にプラスの方向をとったのに、回頭モーメントは右舷回頭をプラスとしたので C_{M_w} は α の小さいところでマイナスの符号となっている。

プロペラ推力と舵の横力

シーアンカーを用いて漂ちゅうする船の漂流角は、

Fig. 7, 8に示すように真横から斜め後方の範囲に、むしろ風でおし流されるように後退する。そしてその時の速度は風速の2%~4%程度である。このような状態では船の x 軸方向の速度成分が小さいので、プロペラおよび舵の性能はプロペラスリップが100%の

Table A-2 Wind Force Coefficients of Ship B

φ°	C_{R_x}	C_{R_y}	C_{M_α}
10	0.303	0.22	0.044
20	0.310	0.38	0.031
30	0.304	0.53	0.036
40	0.281	0.70	0.039
50	0.254	0.83	0.033
60	0.190	0.92	0.028
70	0.105	1.00	0.010
80	0.034	1.01	-0.020
90	0.000	1.00	-0.050
100	-0.068	0.99	-0.075
110	-0.146	0.92	-0.092
120	-0.191	0.83	-0.116
130	-0.249	0.72	-0.126
140	-0.310	0.64	-0.128
150	-0.304	0.53	-0.119
160	-0.309	0.38	-0.093
170	-0.304	0.26	-0.069

Table A-1 Wind Force Coefficients of Ship A

φ°	C_{R_x}	C_{R_y}	C_{M_α}
10	0.283	0.16	0.034
20	0.294	0.33	0.065
30	0.362	0.54	0.094
40	0.437	0.70	0.082
50	0.355	0.88	0.068
60	0.351	0.97	0.054
70	0.242	1.03	0.042
80	0.144	0.99	0.015
90	0.108	1.00	-0.018
100	0.003	0.92	-0.057
110	-0.123	0.95	-0.069
120	-0.240	0.86	-0.098
130	-0.382	0.72	-0.109
140	-0.492	0.63	-0.118
150	-0.605	0.46	-0.096
160	-0.589	0.31	-0.085
170	-0.545	0.18	-0.048

Table A-3 Wind Force Coefficients of Ship C

φ°	C_{R_x}	C_{R_y}	C_{M_α}
10	0.273	0.23	0.035
20	0.246	0.46	0.078
30	0.186	0.74	0.111
40	0.190	1.02	0.121
50	0.224	1.17	0.090
60	0.202	1.31	0.073
70	0.171	1.37	0.053
80	0.194	1.36	0.018
90	0.122	1.37	-0.017
100	0.037	1.42	-0.042
110	-0.103	1.34	-0.093
120	-0.186	1.28	-0.140
130	-0.290	1.13	-0.143
140	-0.372	0.92	-0.129
150	-0.390	0.70	-0.117
160	-0.340	0.46	-0.084
170	-0.328	0.28	-0.041

Table A-4 Water Force Coefficients of Ship A and C

φ°	C_{Lx}	C_{Ly}	C_{Mw}
10	0.030	0.16	-0.014
20	0.036	0.34	-0.022
30	0.024	0.53	-0.026
40	-0.005	0.73	-0.022
50	-0.041	0.89	-0.011
60	-0.080	0.95	0.002
70	-0.073	0.98	0.020
80	-0.077	0.99	0.056
90	-0.073	0.99	0.093
100	-0.072	0.99	0.120
110	-0.068	0.99	0.152
120	-0.044	0.95	0.199
130	-0.026	0.83	0.209
140	-0.024	0.67	0.174
150	-0.034	0.47	0.138
160	-0.047	0.25	0.088
170	-0.045	0.10	0.047

Table A-5 Water Force Coefficients of Ship B

φ°	C_{Lx}	C_{Ly}	C_{Mw}
10	0.030	0.09	-0.014
20	0.036	0.21	-0.032
30	0.024	0.41	-0.039
40	-0.005	0.62	-0.038
50	-0.041	0.83	-0.045
60	-0.080	0.84	-0.041
70	-0.073	0.86	-0.006
80	-0.077	1.00	0.031
90	-0.073	1.04	0.057
100	-0.072	1.03	0.077
110	-0.068	0.97	0.104
120	-0.044	0.91	0.135
130	-0.026	0.84	0.148
140	-0.024	0.67	0.141
150	-0.034	0.43	0.112
160	-0.047	0.24	0.073
170	-0.045	0.07	0.030

場合に等しいと仮定する。

(1) K_T : プロペラの推力係数 K_T は主にプロペラのピッチ比 p と前進常数 $J=V/ND_p$ によって変化する。 p に対する $[K_T]_{J=0}$ の関係を矢崎の論文⁵⁾ から

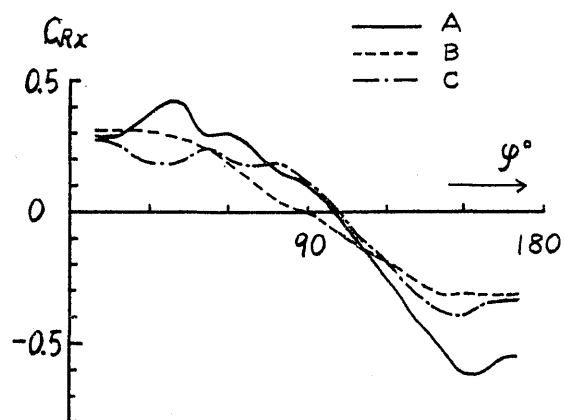


Fig. A-1 Longitudinal Wind Force Coefficient

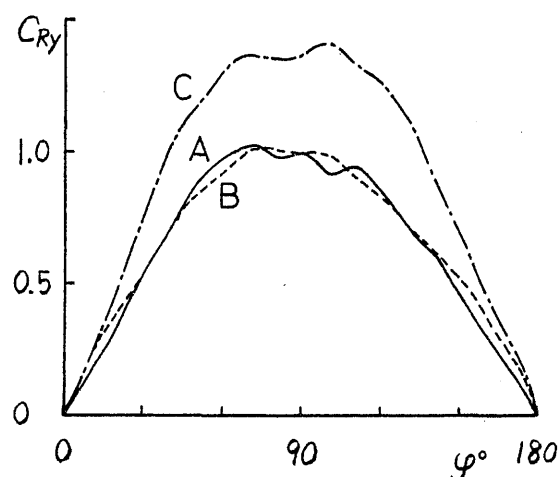


Fig. A-2 Transverse Wind Force Coefficient

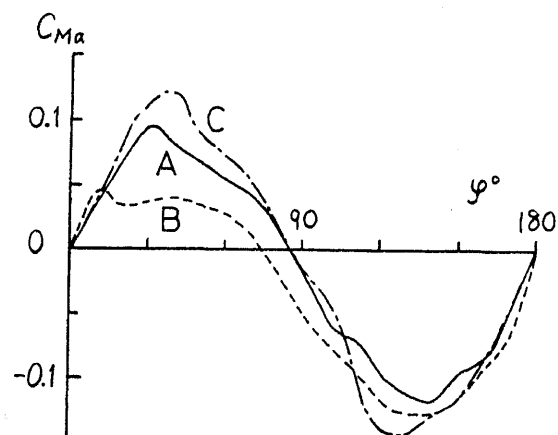


Fig. A-3 Wind Moment Coefficient

読みとり図示すると Fig. A-7 のようになる。本論文では $p=0.56$ に対して $[K_T]_{J=0}=0.236$ を用いた。

(2) C_R : 舵の横力係数 C_R は主に舵のアスペクト

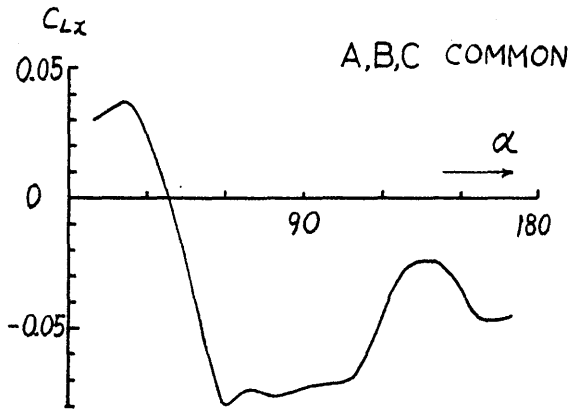


Fig. A-4 Longitudinal Water Force Coefficient

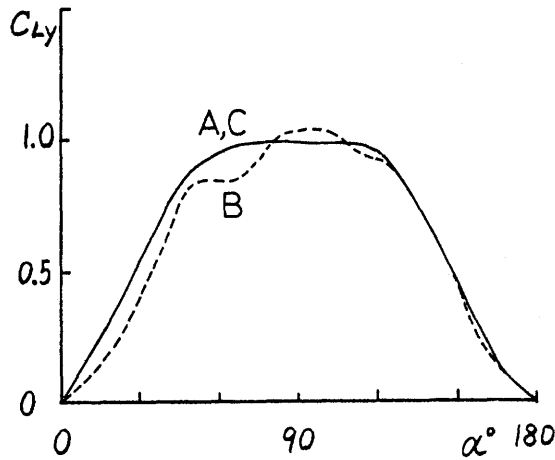


Fig. A-5 Transverse Water Force Coefficient

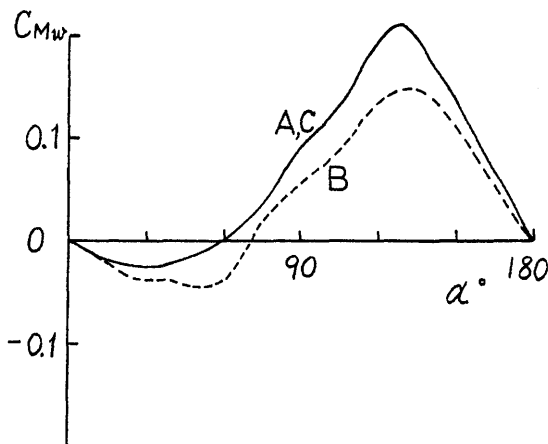


Fig. A-6 Water Moment Coefficient

比 γ と、プロペラのスリップ比 s によって変化する。スリップ 100% の場合の舵の Normal Force (舵面に垂直方向の力) に関しては志波の模型実験⁶⁾ があり、それから読みとった値を舵角に対して図示すると Fig.

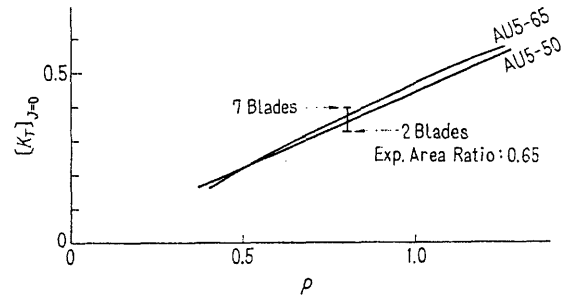


Fig. A-7 Thrust Coefficient of Propeller of No Advance Speed

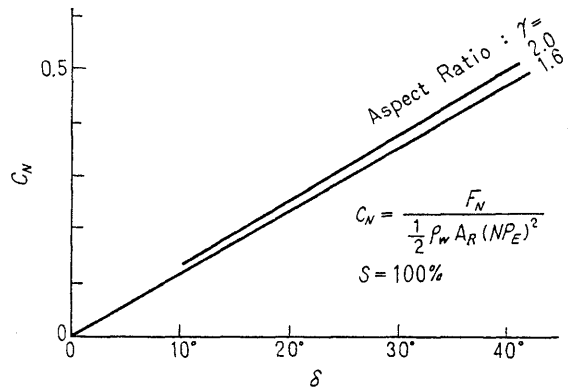


Fig. A-8 Normal-Force Coefficient of Rudder in 100% Slip of Propeller

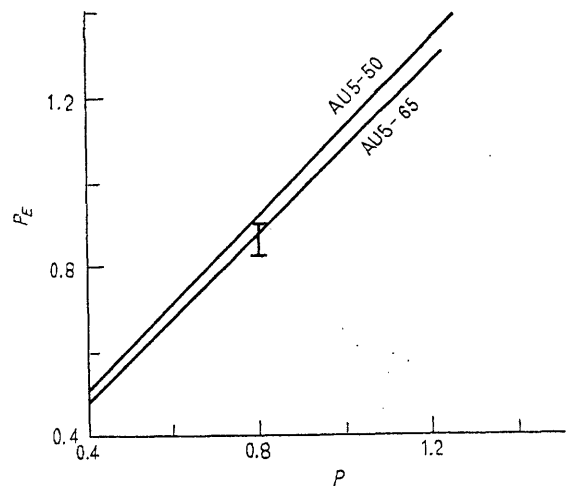


Fig. A-9 Relation Between Geometric and Effective Pitch of Propeller

A-8 のようになる。ただし、ここではプロペラピッチとして有効ピッチ P_E を用いている。幾何学的ピッチ P と P_E との関係は矢崎の論文⁹⁾ から読みとり図示すると Fig. A-9 のようになる。これらの関係から、本論文の計算には、 δ の 1° あたりの C_R の値として 0.01 をとった。