

# 港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

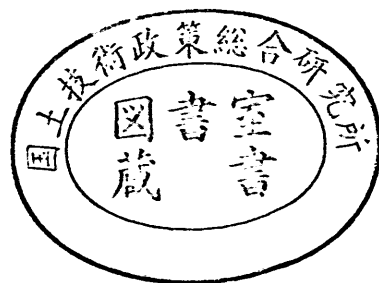
No. 760

Sept. 1993

新しい風抗力係数の計算式の提案および  
係留船舶の動揺への影響の検討

上	田	茂
白	石	悟
浅	野	恒
大	島	弘
		之

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

要 旨 .....	3
1. まえがき .....	4
2. 既往の風抗力係数の提案値 .....	4
2. 1 船舶に作用する風荷重 .....	4
2. 2 技術基準の式 .....	5
2. 3 船研の実験値 .....	6
2. 4 イシャーウッドの提案 .....	6
3. イシャーウッドの風抗力係数に関する考察 .....	7
3. 1 算定方法について .....	7
3. 2 船体諸元に関するパラメータの比較およびその影響 .....	7
3. 3 技術基準の式および船研の実験値との比較 .....	12
4. イシャーウッドの提案に基づく風抗力係数計算式の提案 .....	30
4. 1 概要 .....	30
4. 2 近似式における標準誤差の取扱い .....	30
4. 3 係留船舶の動揺計算結果の比較 .....	35
4. 4 近似式の提案 .....	41
5. 結 論 .....	44
6. あとがき .....	45
参考文献 .....	45
主要記号表 .....	45
付 録 重回帰分析による近似式の算定結果 .....	46

# Proposal of Formula of Wind Force Coefficient and Evaluation of the Effect to Motions of Moored Ships.

Shigeru UEDA\*  
Satoru SHIRAIISHI\*\*  
Kouhei ASANO\*\*\*  
Hiroyuki OSHIMA\*\*\*\*

## Synopsis

In this paper, the wind force coefficient, which presented by R. M. Isherwood, Technical Standard of Port and Harbour Facilities in Japan, and Ship Research Institute in Japan, were compared each other. As a result, we proposed the new formula of wind force coefficient with parameters of wind direction  $\theta$  based on the presented value by R. M. Isherwood.

Followings are concluded in this paper.

- 1) According to examination of parameters for properties of ships that were necessary to calculate the wind force coefficient, it seems that parameters shown by R. M. Isherwood is practical.
- 2) It was discussed about how to use standard error, and the wind force coefficient with computed by former presented value are compared each other. In the regression formula, it is decided to adopt the bigger one between the absolute values computed with standard errors of  $+1.96SE$  or  $-1.96SE$ .
- 3) The results of the numerical simulation of motions for a ferry moored to a single anchor leg show that wind force coefficients have less influence on surging of a ship, while  $C_M$  have much influence on the mooring tension and the angle of the horizontal motion.
- 4) The results of the numerical simulation of motions for a general cargo ship and a tanker moored to quay wall show that the wind force coefficients have influence on surging, swaying and deflection of fender, while they have only a little influence on other components.
- 5) Consequently the new formula of wind force coefficient based on the presented value by R. M. Isherwood is proposed. The regression formula is adopted taking a standard error of the wind force coefficient into consideration.

Key Words : Wind force acting on ships, Wind force coefficient,  
Regression analysis, Oscillation of moored ships.

---

\* Director of Structural Engineering Division

\*\* Chief of the Offshore Structures Laboratory, Structural Engineering Division

\*\*\* Former Trainee, (Toyo Construction Co., Ltd.)

\*\*\*\* Trainee, (Toyo Construction Co., Ltd.)

# 新しい風抗力係数の計算式の提案および 係留船舶の動揺への影響の検討

上 田 茂\*  
白 石 悟\*\*  
浅 野 恒 平\*\*\*  
大 島 弘 之\*\*\*\*

## 要 旨

本資料においては、これまで示されている、技術基準の式、船研の実験値、イシャーウッドの提案に基づく風抗力係数を比較・検討し、その結果、イシャーウッドの提案に基づいて、風向 $\theta$ をパラメータとする新しい風抗力係数の計算式を提案した。

主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 風抗力係数を計算する際に必要な船体諸元に関するパラメータについて検討した結果、イシャーウッドが提示している船体諸元に関するパラメータの値を用いて風抗力係数を推定しても、実用上、問題がないものと思われる。
- 2) 標準誤差の取扱いの検討を行い、既往の風抗力係数の計算式による値を比較・検討した結果、近似式において標準誤差を $+1.96SE$ または $-1.96SE$ として計算した値の絶対値の大きいものをとるもの（絶対値大）が適当であると判断した。
- 3) フェリーについて行った一点係留船舶の振れ回り計算については、風抗力係数が前後方向の動揺に及ぼす影響は小さいものの、振れ回り角度と張力に影響を及ぼし、特に $C_M$ の影響が大きいことがわかった。
- 4) 一般貨物船およびタンカーについて行った係岸船舶の動揺については、風抗力係数がサージ、スウェイおよび防舷材の変位に及ぼす影響がみられるが、その他の成分については影響が小さいことがわかった。
- 5) 以上の検討の結果、イシャーウッドの提案に基づいて風抗力係数の計算式を提案する。近似式においては標準誤差を考慮し、絶対値大とするものを採用する。

キーワード：船舶に作用する風荷重，風抗力係数，回帰分析，係留船舶の動揺

---

• 構造部長  
•• 構造部 海洋構造研究室長  
••• 前研修生（東洋建設株式会社）  
•••• 研修生（東洋建設株式会社）

表-1 風抗力係数が提示されている船種の一覧表

1. まえがき

風抗力係数は、船舶に作用する風圧力を算定する際に用いられる係数であるが、特定の船舶に対しては風洞実験または水槽における実験により求めることが望ましい。標準船型については、既往の風洞実験または水槽における実験結果に基づく風抗力係数の計算式を用いることができる。

港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>1)</sup>(以下、技術基準)には貨物船、旅客船、タンカーについて岩井らが提案した式<sup>2)</sup>を、鈴木ら<sup>3)</sup>が一点係留船舶の振れ回り計算にも適合するよう一部修正した式(以下、技術基準の式)が示されている。また、R. M. Isherwood<sup>4)</sup>は数多くの風洞実験結果を調査・収集し、11の船種および載荷状態ごとに統計解析を行って風抗力係数をその標準誤差を含めて提案(以下、イシャーウッドの提案)している。辻ら<sup>5)</sup>(以下、船研の実験値)はコンテナ船、タンカー(船橋が後方にあるタイプ、満載状態および空載状態)、タンカー(船橋が中央にあるタイプ、満載状態および空載状態)、自動車運搬船、漁船について水槽における実験を行い風抗力係数を提示している。ただし、一般貨物船については実験が行なわれていない。

このように数種の提案式があるが、技術基準の式、および船研の実験値は特定の船型に対する実験値であるので、標準船型について適用する場合には風圧力が過大であるなど、適当でないことがある。以上により、これらの提案式による風抗力係数を比較・検討し、新たな風抗力係数の計算式を提案するものである。表-1は、これらの提案をとりまとめたものである。表には船種ごとに、各提案における船型、載荷状態などを示している。

2. 既往の風抗力係数の提案値

2.1 船舶に作用する風荷重

船舶に作用する風荷重は、X、Y方向の風抗力係数 $C_x$ 、 $C_y$ およびミッドシップ回りの風圧モーメント係数 $C_M$ を用いて各々、式(1)~(3)で求められる。

船種	技術基準	船研の実験値	イシャーウッドの提案値
旅客船	旅客船	-----	旅客船・カーフェリー
カーフェリー	----	-----	旅客船・カーフェリー
貨物船	貨物船	-----	一般貨物船(船体中央に機関、満載・空載) 一般貨物船(船体後方に機関、満載・空載)
コンテナ船	----	コンテナ船	-----
タンカー	タンカー	T丸(船橋後方、満載・空載) M丸(船橋後方、満載・空載) M丸(船橋中央、満載・空載)	タンカー・鉱石運搬船(船橋中央、満載・空載) タンカー・鉱石運搬船(船橋後方、満載・空載)
自動車専用船	----	自動車運搬船	-----
ガス運搬船	----	-----	-----
その他	----	以西底引き網漁船 鰹・鯖漁船 北洋・鮭・鱒漁船	底引き網漁船 引き船

$$R_x = \frac{1}{2} \rho U^2 A_T C_x \tag{1}$$

$$R_y = \frac{1}{2} \rho U^2 A_L C_y \tag{2}$$

$$R_M = \frac{1}{2} \rho U^2 A_L \ell C_M \tag{3}$$

ここに、

$C_x$  : X方向の風抗力係数

$C_y$  : Y方向の風抗力係数

$C_M$  : ミッドシップ回りの風圧モーメント係数

$R_x$  : 風荷重合力のX方向成分 (kgf)

$R_y$  : 風荷重合力のY方向成分 (kgf)

$R_M$  : 風荷重合力のミッドシップ回りのモーメント (kgf・m)

$\rho$  : 空気密度,  $\rho = 0.123$  (kgf・s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

$U$  : 風速 (m/s)

$A_T$  : 水面上船体正面投影面積 (m<sup>2</sup>)

$A_L$  : 水面上船体側面投影面積 (m<sup>2</sup>)

$\ell$  : 垂線間長 (m)

である。

## 2.2 技術基準の式

技術基準<sup>1)</sup>においては、式(4)に示すヒューズ(Hughes)の式で船舶に作用する風荷重合力を計算するものとしている。

$$R = 0.5 \rho C_w U^2 (A_r \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta) \quad (4)$$

ここに、

$R$  : 風荷重合力 (kgf)

$\theta$  : 風向 (度)

$C_w$  : 風抗力係数

である。

風抗力係数  $C_w$  については、岩井ら<sup>2)</sup>が水槽中で模型船に風を与えて風荷重を測定し、船種別に風抗力係数を整理したものをを用いることとされている。

風抗力係数  $C_w$  は、船種ごとにそれぞれ式(5)~(7)で示される。

$$\begin{aligned} \text{貨物船} \quad C_w &= 1.325 - 0.05 \cos 2\theta - 0.35 \cos 4\theta \\ &\quad - 0.175 \cos 6\theta \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{旅客船} \quad C_w &= 1.142 - 0.142 \cos 2\theta - 0.367 \cos 4\theta \\ &\quad - 0.133 \cos 6\theta \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{タンカー} \quad C_w &= 1.20 - 0.083 \cos 2\theta - 0.25 \cos 4\theta \\ &\quad - 0.177 \cos 6\theta \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、図-1に示す風荷重合力の作用する方向  $\phi$  を用いると、風荷重合力の  $X$ ,  $Y$  方向成分  $R_x$ ,  $R_y$ , およびミッドシップ回りのモーメント  $R_M$  はそれぞれ、式(8)~(10)で表わされる。

$$R_x = R \cos \phi \quad (8)$$

$$R_y = R \sin \phi \quad (9)$$

$$R_M = R_y \left( \frac{\ell}{2} - a \right) \quad (10)$$

ここに

$a$  : 船首から風荷重合力が作用する点までの距離 (m)

$\phi$  : 風荷重合力の作用する方向が船体中心線となす角 (度)

である。

岩井らは、風荷重合力の作用する方向  $\phi$  と風向  $\theta$  との関係を表(11)で与えている。

$$\phi = \left\{ 1 - 0.15 \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right) - 0.80 \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right)^2 \right\} \times 90 \quad (11)$$

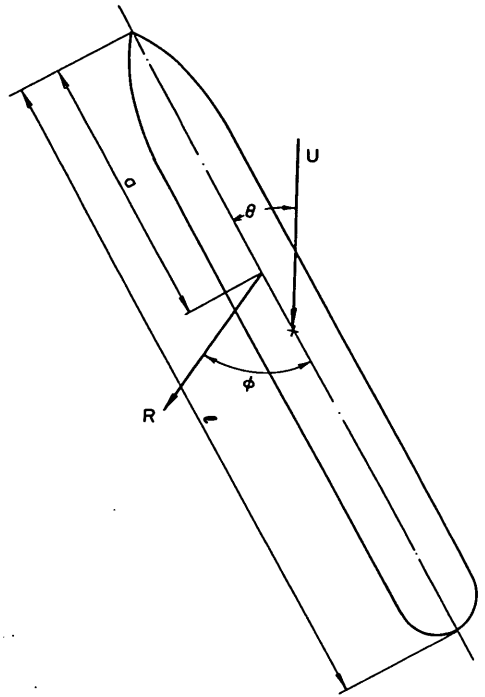


図-1 風荷重合力算定図

これに対し、鈴木ら<sup>3)</sup>は一点係留船舶の振れ回り運動の計算に際して、式(11)を修正して式(12)および式(13)を提示している。

$$\phi = \left\{ 3 - \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right)^q \right\} \times 90 \quad (\theta \geq 0) \quad (12)$$

$$\phi = \left\{ 1 + \left( 1 - \frac{\theta}{90} \right)^q \right\} \times 90 \quad (\theta < 0) \quad (13)$$

ここで、指数  $q$  は貨物船および空載のタンカーに対して5、また、満載のタンカーに対して3を用いる。

船首から風荷重合力が作用する点までの距離と垂線間長の比  $a/\ell$  については、岩井らによる式(14)の関係を用いる。

$$\frac{a}{\ell} = 0.291 + 0.0023 \theta \quad (14)$$

以上より、技術基準で与えられている風荷重について、係留船舶に作用する  $X$ ,  $Y$  方向およびミッドシップ回りの風抗力係数  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_M$  については式(1)~(3)、式(4)、式(8)~(10)の関係を用いて、それぞれ式(15)~(17)のように表される。

$$C_x = \frac{R \cos \phi}{\frac{1}{2} \rho U^2 A_r}$$

$$= \frac{C_w (A_T \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta) \cos \phi}{A_T} \quad (15)$$

$$C_Y = \frac{R \sin \phi}{\frac{1}{2} \rho U^2 A_L} = \frac{C_w (A_T \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta) \sin \phi}{A_L} \quad (16)$$

$$C_M = \frac{R_Y \left(\frac{\ell}{2} - a\right)}{\frac{1}{2} \rho U^2 A_L \ell} = \frac{C_w (A_T \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta) \sin \phi \left(\frac{\ell}{2} - a\right)}{A_L \ell} \quad (17)$$

式(14)を代入すると、

$$C_M = \frac{C_w (A_T \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta) \sin \phi \left(\frac{1}{2} - (0.291 + 0.0023 \theta)\right)}{A_L} \quad (18)$$

### 2.3 船研の実験値

辻ら<sup>3)</sup>は、表-2に示す船舶について風洞実験を行い、風向 $\theta$ をパラメータとして風抗力係数 $C_w$ 、Y方向の風抗力係数 $C_Y$ 、ミッドシップ回りの風抗力係数 $C_M$ 、風荷重合力の作用する方向 $\phi$ 、船首から風荷重合力が作用する点までの距離と垂線間長の比 $a/\ell$ 、風向影響係数 $k$ を図および表にして示している。

船研の実験値では、X方向の風抗力係数 $C_X$ は、風向 $\theta = 0^\circ$ における風抗力係数 $C_{w0}$ およびそれぞれの風向における風向影響係数 $k$ を用いて式(19)で求めることができる。

$$C_X = k C_{w0} \quad (19)$$

### 2.4 イシャーウッドの提案

イシャーウッドは、船舶の風抗力係数に関する風洞実験結果を収集し、これらのデータを船種および載荷状態ごとに統計解析し、「タンカー・鉱石運搬船」、「一般貨物船」、「旅客船・カーフェリー」など、後述する11の船種および載荷状態について、式(20)~(24)で風抗力係数を計算することを提案している。

$$C_X = A_0 + A_1 \left(\frac{2 A_L}{L_{\alpha}^2}\right) + A_2 \left(\frac{2 A_T}{B^2}\right) + A_3 \left(\frac{L_{\alpha}}{B}\right) + A_4 \left(\frac{S}{L_{\alpha}}\right) + A_5 \left(\frac{C}{L_{\alpha}}\right) + A_6 M \pm 1.96 SE \quad (20)$$

$$C_Y = B_0 + B_1 \left(\frac{2 A_L}{L_{\alpha}^2}\right) + B_2 \left(\frac{2 A_T}{B^2}\right) + B_3 \left(\frac{L_{\alpha}}{B}\right) + B_4 \left(\frac{S}{L_{\alpha}}\right) + B_5 \left(\frac{C}{L_{\alpha}}\right) + B_6 \left(\frac{A_{SS}}{A_L}\right) \pm 1.96 SE \quad (21)$$

$$C_M = C_0 + C_1 \left(\frac{2 A_L}{L_{\alpha}^2}\right) + C_2 \left(\frac{2 A_T}{B^2}\right) + C_3 \left(\frac{L_{\alpha}}{B}\right) + C_4 \left(\frac{S}{L_{\alpha}}\right) + C_5 \left(\frac{C}{L_{\alpha}}\right) \pm 1.96 SE \quad (22)$$

ここに、

$A_{SS}$  : 甲板より上部の側面投影面積 (m<sup>2</sup>)

$L_{\alpha}$  : 全長 (m)

$B$  : 船幅 (m)

$C$  : 側面投影面の重心点から船首までの距離 (m)

$M$  : 側面投影面におけるマストやキングポストの数

$S$  : 側面投影面における境界線の長さ (m) (ただし、水面と船体の境界線や、マスト・通風管などの細い部分は除く)

$SE$  : 標準誤差

である。

$A_0 \sim A_6$ 、 $B_0 \sim B_6$ 、 $C_0 \sim C_5$ は、多くの風洞実験によって得られた風抗力係数を船種および載荷状態ごとに統計解析して風向 $\theta$ ごとに求められた係数である。また、

表-2 船研の実験対象船舶について (辻らによる)

船 種	船 体 諸 元					
	Q (m)	B (m)	D (m)	$A_T$ (m <sup>2</sup> )	$A_L$ (m <sup>2</sup> )	
巨大タンカー (T丸) (船橋が後方にあるタイプ)	満載	290.00	47.50	24.00	1,030	3,212
	空載				1,280	5,180
巨大タンカー (M丸) (船橋が後方にあるタイプ)	満載	304.00	44.00	24.20	993.5	4,135.6
	空載				1,363.1	6,270.4
巨大タンカー (M丸) (船橋が中央にあるタイプ)	満載	304.00	44.00	24.20	861.8	3,719.7
	空載				1,215.3	5,845.3
コンテナ船	満載	175.00	25.00	15.40	522.2	2,310.7
	空載				609.4	2,376.5
自動車運搬船	満載	150.00	23.40	20.40	447.2	2,351.4
	空載				499.3	2,589.6
以西底引網漁船	満載	29.000	6.360	2.820	31.6	101.0
	空載				38.1	126.0
鰹、鯖漁船	満載	29.50	6.3	3.1	34.3	100.0
北洋鮭、鰹漁船	満載	27.800	6.10	2.70	31.76	90.20

( B : 船幅 , D : 型深さ )

SEは標準誤差である。この標準誤差は、解析に用いた各船舶の風抗力係数の風向 $\theta$ ごとの実験値のばらつきを表すものである。なお、標準誤差に対する係数を $\pm 1.96$ としているが、これは風洞実験による風抗力係数のばらつきの分布が正規分布であるとして、上限および下限5%に対応する数値を採用することを意味する。標準誤差に対する係数は風抗力係数の値に及ぼす影響が大きいので、この点について本資料の4.において動揺計算結果を踏まえて検討する。

式(9)~(12)の係数 $A_0 \sim A_6$ ,  $B_0 \sim B_6$ ,  $C_0 \sim C_6$ およびSEを表-3~表-5に示す。ただし、 $A_0 \sim A_6$ ,  $B_0 \sim B_6$ ,  $C_0 \sim C_6$ について---と表記された部分については0として計算する。

なお、対象船舶の諸元が明かな場合には、 $A_L$ ,  $A_T$ ,  $A_{SS}$ ,  $L_{0A}$ ,  $C$ ,  $M$ ,  $S$ はそれぞれ対象とする船舶の数値を用いて計算することが望ましい。しかしながら、これらの船体諸元のうち、 $A_{SS}$ ,  $S$ ,  $C$ ,  $M$ などは船舶の線図または船体の外観形状図などの資料が無ければ求めることが困難である。また、一般的な船種・船型について、これらの一般的な数値を得ることは難しい。そこで、イシャーウッドは式(9)~(12)の係数を決定する際に用いた船舶のデータに基づいて、表-6に示す船種および載荷状態について、風抗力係数を計算する際の船体諸元のパラメータの平均値を提示し利用の便を図っている。

### 3. イシャーウッドの風抗力係数に関する考察

#### 3.1 算定方法について

イシャーウッドの提案に基づいて風抗力係数を算定する場合、計算方法に関して原論文で明確に示されていない点がある。この点について本資料においては、基本的に以下に示すように取り扱う。

① 風向が $0^\circ$ ,  $180^\circ$ における $C_T$ および $C_M$ の算定  
 $C_T$ および $C_M$ を算定する場合、表-4および表-5を用いるが、風向が $0^\circ$ および $180^\circ$ における係数の値が示されていない。しかしながら風向が $0^\circ$ および $180^\circ$ における $C_T$ および $C_M$ の値は非常に小さいことが知られており、回帰分析を行う上で重要ではないと考えられる

表-3 風向 $\theta$ と係数 $A_i$ およびSEの関係(イシャーウッドによる)

$\theta$	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	SE
0	2.152	-5.000	0.243	-0.164	-----	-----	-----	0.086
10	1.714	-3.330	0.145	-0.121	-----	-----	-----	0.104
20	1.818	-3.970	0.211	-0.143	-----	-----	0.033	0.096
30	1.965	-4.810	0.243	-0.154	-----	-----	0.041	0.117
40	2.333	-5.990	0.247	-0.190	-----	-----	0.042	0.115
50	1.726	-6.540	0.189	-0.173	0.348	-----	0.048	0.109
60	0.913	-4.680	-----	-0.104	0.482	-----	0.052	0.082
70	0.457	-2.880	-----	-0.068	0.346	-----	0.043	0.077
80	0.341	-0.910	-----	-0.031	-----	-----	0.032	0.090
90	0.355	-----	-----	-----	-0.247	-----	0.018	0.094
100	0.601	-----	-----	-----	-0.372	-----	-0.020	0.096
110	0.651	1.290	-----	-----	-0.582	-----	-0.031	0.090
120	0.564	2.540	-----	-----	-0.748	-----	-0.024	0.100
130	-0.142	3.580	-----	0.047	-0.700	-----	-0.028	0.105
140	-0.677	3.640	-----	0.069	-0.529	-----	-0.032	0.123
150	-0.723	3.140	-----	0.064	-0.475	-----	-0.032	0.128
160	-2.148	2.560	-----	0.081	-----	1.270	-0.027	0.123
170	-2.707	3.970	-0.175	0.126	-----	1.810	-----	0.115
180	-2.529	3.760	-0.174	0.128	-----	1.550	-----	0.112

ため、これらの風向においては、 $C_T$ および $C_M$ は算定しないものとする。

#### ② 標準誤差の影響

イシャーウッドの風抗力係数算定式には、標準誤差の項( $\pm 1.96SE$ )が含まれている。標準誤差(SE)の値は、表-3~表-5において各風向ごと示されているが、本資料では標準誤差を、 $+1.96SE$ ,  $-1.96SE$ として計算した場合について比較・検討を行う。

#### ③ 補間の方法

表-3~表-5において、風向 $10^\circ$ ごとに各係数値を示しているが、それ以外の風向に対する風抗力係数を算定する場合は、何らかの形で補間推定しなければならない。以下の考察では、任意の風向に対する風抗力係数は、風向 $10^\circ$ ごとに風抗力係数を算定した後に、 $10^\circ$ ごとに得られている風抗力係数を用いて、その間の数値を補間して求めることとする。

### 3.2 船体諸元に関するパラメータの比較およびその影響

2.4ですでに示したように、イシャーウッドの提案に基づき風抗力係数を算定する場合、 $A_{SS}$ ,  $S$ ,  $C$ ,  $M$ などを表-6に示した諸値を用いるものとする、風抗力係数の値は船型に関係なく各船種および載荷状態ごとに



同一となる。

これに対して、技術基準の式を用いて風抗力係数を計算する場合には、表-6に表したパラメータのうち、 $A_{ss}$ 、 $S$ 、 $C$ 、 $M$ については船型に関する回帰式が求められていないが、他の $2A_L/L_{\alpha}^2$ 、 $2A_T/B^2$ 、 $L_{\alpha}/B$ の三つのパラメータについては、船型に関する回帰式<sup>6),7)</sup>が求められている。そこで、これらのパラメータについて、回帰式から得られる数値、船研の実験における対象船舶に対する数値、ならびにイシャーウッドの提案による計算値を比較し、風抗力係数に及ぼす影響を検討する。ただし、船研の実験値については、回帰式を用いて垂線間長 $l$ から全長を計算した。

図-2~図-7は一般貨物船(満載時および空載時)、タンカー(満載時および空載時)旅客船・カーフェリーについて $2A_L/L_{\alpha}^2$ 、 $2A_T/B^2$ 、 $L_{\alpha}/B$ の値を比較して示したものである。縦軸には各パラメータの値、横軸には載荷重量トン(D. W. T.)または総トン(G. T.)を示している。イシャーウッドの提案については、全船型に対する平均値であるので、船型に関係なく一定値である。一方、技術基準の計算値については、船種ごとに載荷重量トン、または総トンから回帰式を用いて得られる $A_L$ 、 $A_T$ 、 $L_{\alpha}$ 、 $B$ から求めた各パラメータの値である。また、船研の実験値は実験対象となった船舶に対する値である。

一例として、図-4(1)に示すように、タンカー(満載時)について比較すると、技術基準の回帰式によれば、 $2A_L/L_{\alpha}^2$ は船舶の

載荷重量トン(D. W. T.)が増加するにしたがって0.16から0.04の範囲で変化するのに対して、イシャーウッドの提案では $2A_L/L_{\alpha}^2$ は、船体中央に船橋があるタイプ

においては0.076、船体後方に船橋があるタイプでは0.100である。これは、技術基準の回帰式を用いた場合は、それぞれ40,000D. W. T. および10,000D. W. T.

表-4 風向 $\theta$ と係数 $B_n$ およびSEの関係(イシャーウッドによる)

$\theta$	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	SE
10	0.096	0.220	-----	-----	-----	-----	-----	0.015
20	0.176	0.710	-----	-----	-----	-----	-----	0.023
30	0.225	1.380	-----	0.023	-----	-0.290	-----	0.030
40	0.329	1.820	-----	0.043	-----	-0.590	-----	0.054
50	1.164	1.260	0.121	-----	-0.242	-0.950	-----	0.055
60	1.163	0.960	0.101	-----	-0.177	-0.880	-----	0.049
70	0.916	0.530	0.069	-----	-----	-0.650	-----	0.047
80	0.844	0.550	0.082	-----	-----	-0.540	-----	0.046
90	0.889	-----	0.138	-----	-----	-0.660	-----	0.051
100	0.799	-----	0.155	-----	-----	-0.550	-----	0.050
110	0.797	-----	0.151	-----	-----	-0.550	-----	0.049
120	0.996	-----	0.184	-----	-0.212	-0.660	0.340	0.047
130	1.014	-----	0.191	-----	-0.280	-0.690	0.440	0.051
140	0.784	-----	0.166	-----	-0.209	-0.530	0.380	0.060
150	0.536	-----	0.176	-0.029	-0.163	-----	0.270	0.055
160	0.251	-----	0.106	-0.022	-----	-----	-----	0.036
170	0.125	-----	0.046	-0.012	-----	-----	-----	0.022

表-5 風向 $\theta$ と係数 $C_n$ およびSEの関係(イシャーウッドによる)

$\theta$	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	SE
10	0.0596	0.0610	-----	-----	-----	-0.0740	0.0048
20	0.1106	0.2040	-----	-----	-----	-0.1700	0.0074
30	0.2258	0.2450	-----	-----	-----	-0.3800	0.0105
40	0.2017	0.4570	-----	0.0067	-----	-0.4720	0.0137
50	0.1759	0.5730	-----	0.0118	-----	-0.5230	0.0149
60	0.1925	0.4800	-----	0.0115	-----	-0.5460	0.0133
70	0.2133	0.3150	-----	0.0081	-----	-0.5260	0.0125
80	0.1827	0.2540	-----	0.0053	-----	-0.4430	0.0123
90	0.2627	-----	-----	-----	-----	-0.5080	0.0141
100	0.2102	-----	-0.0195	-----	0.0335	-0.4920	0.0146
110	0.1567	-----	-0.0258	-----	0.0497	-0.4570	0.0163
120	0.0801	-----	-0.0311	-----	0.0740	-0.3960	0.0179
130	-0.0189	-----	-0.0488	0.0101	0.1128	-0.4200	0.0166
140	0.0256	-----	-0.0422	0.0100	0.0889	-0.4630	0.0162
150	0.0552	-----	-0.0381	0.0109	0.0689	-0.4760	0.0141
160	0.0881	-----	-0.0306	0.0091	0.0366	-0.4150	0.0105
170	0.0851	-----	-0.0122	0.0025	-----	-0.2200	0.0057

の船舶に相当する。また、船研の実験値における  $2A_L/L_{0A}$  は、タンカー T 丸（船体後方に船橋があるタイプ、183,200 D. W. T.）においては0.065、タンカー M 丸（船体後方に船橋あるタイプ、174,410 D. W. T.）は0.087、タンカー M 丸（船体中央に船橋あるタイプ、174,410 D. W. T.）では0.078である。これらは技術基準の回帰式を用いた場合では、80,000 D. W. T.、20,000 D. W. T.、30,000 D. W. T. にそれぞれ相当する。

また、図-4(2)に示すように、 $2A_T/B$  は技術基準の回帰式によれば船舶の載荷重量トンが増加するにしたがって2.2から0.6の範囲で変化する。これに対してイシャーウッドの提案では、 $2A_T/B$  は船体中央に船橋があるタイプにおいては1.03、船体後方に船橋があるタイプにおいては1.59である。これらは、技術基準の回帰式を用いた場合の、40,000 D. W. T.、5,000 D. W. T. にそれぞれ相当する。また、船研の実験値では、タンカー T 丸（船体後方に船橋のあるタイプ）においては0.91、タンカー M 丸（船体後方に船橋があるタイプ）では1.03、タンカー M 丸（船体中央に船橋があるタイプ）では0.89である。これらは技術基準の回帰式を用いた場合の80,000 D. W. T.、40,000 D. W. T.、100,000 D. W. T. にそれぞれ相当する。

つぎに、図-4(3)に示すように、 $L_{0A}/B$  は技術基準の回帰式によれば船舶の載荷重量トンが増加するにしたがって、5.9から6.7の範囲で変化する。これに対して、イシャーウッドの提案では、 $L_{0A}/B$  は船体中央に船橋があるタイプについても船体後方に船橋があるタイプについてもいずれも7.46であり、技術基準の回帰式による場合の値よりも大きい。イシャーウッドの論文は1972年に発表されており、解析の対象とされた船舶のデータはそれ以前に建造されたものである。最近の一般商船の船

表-6 船体に関するパラメータの平均値（イシャーウッドによる）

船種	$2A_L/L_{0A}$	$2A_T/B$	$L_{0A}/B$	$S/L_{0A}$	$C/L_{0A}$	$A_{33}/A_L$	M
MAX	0.246	2.320	9.750	1.970	0.619	0.595	7
MIN	0.072	0.880	4.000	1.230	0.401	0.138	1
MEAN	0.143	1.780	7.390	1.510	0.506	0.246	4
1	0.192	1.950	7.660	1.440	0.492	0.398	2
2	0.111	1.670	7.800	1.510	0.490	0.258	4
3	0.149	2.040	7.800	1.580	0.489	0.188	4
4	0.122	1.750	7.800	1.510	0.550	0.253	5
5	0.151	2.060	7.800	1.580	0.526	0.175	5
6	0.076	1.030	7.460	1.330	0.547	0.252	3
7	0.117	1.430	7.460	1.400	0.522	0.161	3
8	0.100	1.590	7.460	1.330	0.568	0.211	3
9	0.121	1.680	7.460	1.400	0.537	0.139	3
10	0.166	1.800	6.470	1.450	0.476	0.229	2
11	0.236	1.430	4.050	1.860	0.405	0.396	1

- 1) 1.~11. は船種で以下に示す。
- 2) MAXは全解析データ中の最大値を、MINは同じく最小値を、また、MEANは全船舶データの平均値を示す。

船種番号

MAX : 全船種の最大値  
 MIN : 全船種の最小値  
 MEAN : 全船種の平均値

- 1 : 旅客船・カーフェリー
- 2 : 一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ） ---満載状態
- 3 : 一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ） ---空載状態
- 4 : 一般貨物船（船体後方にエンジンがあるタイプ） ---満載状態
- 5 : 一般貨物船（船体後方にエンジンがあるタイプ） ---空載状態
- 6 : タンカー・鉱石運搬船（船体中央に船橋があるタイプ） ---満載状態
- 7 : タンカー・鉱石運搬船（船体中央に船橋があるタイプ） ---空載状態
- 8 : タンカー・鉱石運搬船（船体後方に船橋があるタイプ） ---満載状態
- 9 : タンカー・鉱石運搬船（船体後方に船橋があるタイプ） ---空載状態
- 10 : 底引き網漁船
- 11 : 引き船

型の傾向としては、船型が肥大化し、 $L_{0A}/B$  が小さくなる傾向にあると言われているので、図-4(3)における数値の相違はその影響であると考えられる。また、船研の実験値においては、タンカー T 丸（船体後方に船橋があるタイプ）は6.63、タンカー M 丸（船体後方に船橋があるタイプおよび船体中央に船橋があるタイプ）では7.02であり、技術基準の回帰式による場合と比べると T 丸については、500,000 D. W. T. に相当するが、M 丸については技術基準の回帰式の場合よりも大きい。

このように、船型によってはイシャーウッドが示したパラメータの値が技術基準の回帰式による数値とやや異

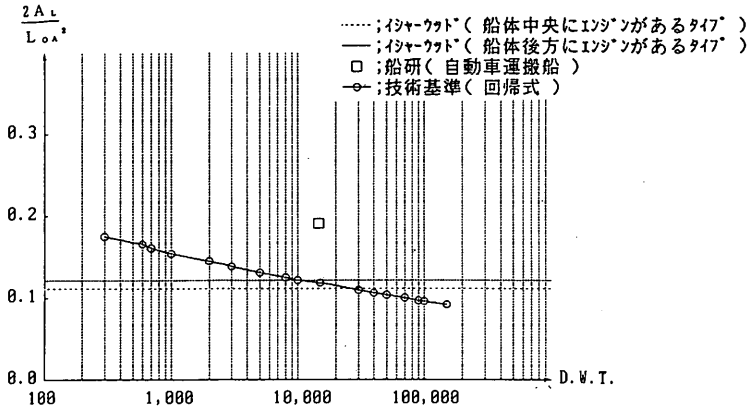


図-2(1)  $D.W.T. \sim 2A_L / L_{\alpha}^2$

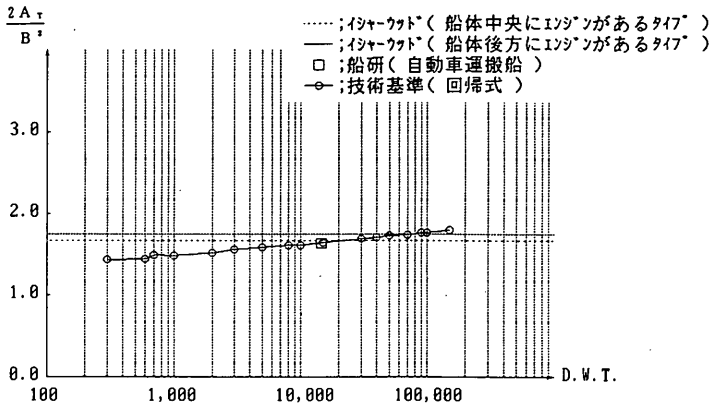


図-2(2)  $D.W.T. \sim 2A_T / B^2$

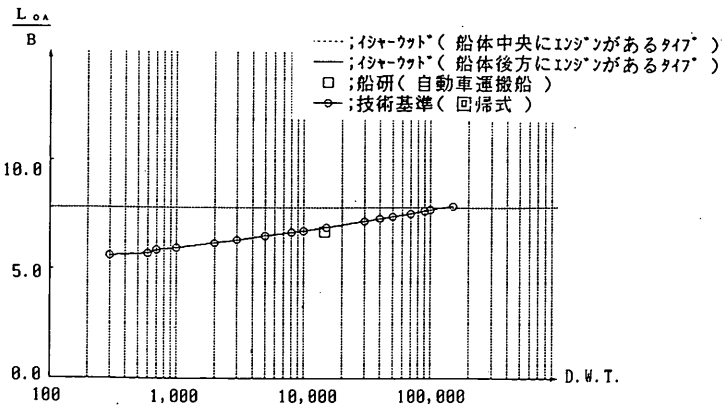


図-2(3)  $D.W.T. \sim L_{\alpha} / B$

図-2 船体諸元に関するパラメータの比較 一般貨物船 (満載時)

表-7 船型の相違による風抗力係数の比較 (一般貨物船)

表-7(1) 岩井の式による風抗力係数の比較 (一般貨物船, 満載状態)

$\theta^\circ$	岩井の式 1,000 D. W. T.			岩井の式 10,000 D. W. T.			岩井の式 50,000 D. W. T.			岩井の式 100,000 D. W. T.		
	$C_x$	$C_y$	$C_M$	$C_x$	$C_y$	$C_M$	$C_x$	$C_y$	$C_M$	$C_x$	$C_y$	$C_M$
0	0.748			0.748			0.748			0.748		
10	0.886	0.124	0.023	0.879	0.132	0.025	0.875	0.138	0.026	0.874	0.140	0.026
20	1.210	0.333	0.054	1.182	0.350	0.057	1.164	0.362	0.059	1.159	0.366	0.060
30	1.399	0.644	0.090	1.345	0.665	0.093	1.309	0.681	0.095	1.299	0.686	0.096
40	1.248	0.931	0.109	1.185	0.950	0.111	1.143	0.965	0.113	1.132	0.969	0.113
50	0.871	1.074	0.101	0.820	1.087	0.102	0.787	1.097	0.103	0.777	1.099	0.103
60	0.511	1.095	0.078	0.479	1.101	0.078	0.457	1.107	0.079	0.451	1.108	0.079
70	0.273	1.109	0.053	0.254	1.112	0.053	0.242	1.114	0.053	0.239	1.114	0.053
80	0.121	1.165	0.029	0.112	1.165	0.029	0.107	1.166	0.029	0.105	1.166	0.029
90	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002
100	-0.121	1.165	-0.024	-0.112	1.165	-0.024	-0.107	1.166	-0.024	-0.105	1.166	-0.024
110	-0.273	1.109	-0.049	-0.254	1.112	-0.049	-0.242	1.114	-0.049	-0.239	1.114	-0.049
120	-0.511	1.095	-0.073	-0.479	1.101	-0.074	-0.457	1.107	-0.074	-0.451	1.108	-0.074
130	-0.871	1.074	-0.097	-0.820	1.087	-0.098	-0.787	1.097	-0.099	-0.777	1.099	-0.099
140	-1.248	0.931	-0.105	-1.185	0.950	-0.107	-1.143	0.965	-0.109	-1.132	0.969	-0.109
150	-1.399	0.644	-0.088	-1.345	0.665	-0.090	-1.309	0.681	-0.093	-1.299	0.686	-0.093
160	-1.210	0.333	-0.053	-1.182	0.350	-0.056	-1.164	0.362	-0.058	-1.159	0.366	-0.058
170	-0.886	0.124	-0.023	-0.879	0.132	-0.024	-0.875	0.138	-0.025	-0.874	0.140	-0.026
180	-0.748			-0.748			-0.748			-0.748		

表-7(2) 技術基準の式による風抗力係数の比較 (一般貨物船, 満載状態)

$\theta^\circ$	技術基準 1,000 D. W. T.			技術基準 10,000 D. W. T.			技術基準 50,000 D. W. T.			技術基準 100,000 D. W. T.		
	$C_x$	$C_y$	$C_M$	$C_x$	$C_y$	$C_M$	$C_x$	$C_y$	$C_M$	$C_x$	$C_y$	$C_M$
0	0.750			0.750			0.750			0.750		
10	0.764	0.173	0.032	0.758	0.184	0.034	0.755	0.193	0.036	0.754	0.196	0.036
20	0.749	0.420	0.068	0.731	0.441	0.072	0.719	0.457	0.075	0.716	0.462	0.075
30	0.569	0.729	0.102	0.547	0.754	0.106	0.532	0.773	0.108	0.528	0.778	0.109
40	0.306	0.986	0.115	0.290	1.007	0.118	0.279	1.022	0.120	0.277	1.027	0.120
50	0.111	1.099	0.103	0.105	1.112	0.105	0.100	1.122	0.105	0.099	1.125	0.106
60	0.027	1.103	0.078	0.025	1.110	0.079	0.024	1.115	0.079	0.023	1.117	0.079
70	0.004	1.111	0.053	0.003	1.114	0.053	0.003	1.116	0.054	0.003	1.117	0.054
80	0.000	1.165	0.029	0.000	1.166	0.029	0.000	1.166	0.029	0.000	1.167	0.029
90	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002
100	-0.000	1.165	-0.024	-0.000	1.166	-0.024	-0.000	1.166	-0.024	-0.000	1.167	-0.024
110	-0.004	1.111	-0.049	-0.003	1.114	-0.049	-0.003	1.116	-0.049	-0.003	1.117	-0.049
120	-0.027	1.103	-0.074	-0.025	1.110	-0.074	-0.024	1.115	-0.075	-0.023	1.117	-0.075
130	-0.111	1.099	-0.099	-0.105	1.112	-0.100	-0.100	1.122	-0.101	-0.099	1.125	-0.101
140	-0.306	0.986	-0.111	-0.290	1.007	-0.114	-0.279	1.022	-0.116	-0.277	1.027	-0.116
150	-0.569	0.729	-0.099	-0.547	0.754	-0.103	-0.532	0.773	-0.105	-0.528	0.778	-0.106
160	-0.749	0.420	-0.067	-0.731	0.441	-0.070	-0.719	0.457	-0.073	-0.716	0.462	-0.073
170	-0.764	0.173	-0.031	-0.758	0.184	-0.034	-0.755	0.193	-0.035	-0.754	0.196	-0.036
180	-0.750			-0.750			-0.750			-0.750		

なっているところもあるので、各パラメータが風抗力係数に及ぼす影響について検討する。

ここに一例として図-8に示すようにタンカー(船体中央に船橋があるタイプ, 満載状態)の $C_x$ ,  $C_y$ および $C_M$ についてイシャーウッドの風抗力係数の提案式の各項と風抗力係数との比を風向ごとに示す。 $C_x$ および $C_M$ について、図-8(1)の風向 $110^\circ$ および $120^\circ$ 、図-8(3)の風向 $90^\circ$ および $100^\circ$ にみられるように各項と風抗力係数の比が大きく変動している部分があるが、これらの角度においては風抗力係数の値そのものが小さい。

図-8より、全般的に船体諸元に関するパラメータを含まない $A_0$ ,  $B_0$ ,  $C_0$ の影響が比較的大きく、船体諸元に関するパラメータを含む項のうち、特に支配的であ

ると思われる項はない。このことから、図-2~図-7に示すように、一部のパラメーターについて、技術基準の回帰式に基づく値と相違している箇所がみられるものの、これが風抗力係数の値に大きな影響を与えないものと思われる。また、表-7(1)~表-7(4)に示すように、1,000 D. W. T., 10,000 D. W. T., 50,000 D. W. T., 100,000 D. W. T.の一般貨物船について、岩井の式および技術基準の式で $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_M$ を計算して比較したところ、船型の相違による差異はほとんど無いことがわかる。ここで、表-7(1)は岩井の式、表-7(2)は技術基準の式により船型ごとに求めた満載状態の風抗力係数である。また、表-7(3)および表-7(4)はそれぞれの空載状態について求めたものである。以上のことより、船型

表-7(3) 岩井の式による風抗力係数の比較 (一般貨物船, 空載状態)

θ°	岩井の式 1,000 D. W. T.			岩井の式 10,000D. W. T.			岩井の式 50,000D. W. T.			岩井の式 100,000 D. W. T.		
	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>m</sub>	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>m</sub>	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>m</sub>	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>m</sub>
0	0.748			0.748			0.748			0.748		
10	0.874	0.140	0.026	0.886	0.123	0.023	0.895	0.114	0.021	0.899	0.110	0.020
20	1.160	0.365	0.059	1.212	0.332	0.054	1.250	0.313	0.051	1.267	0.305	0.050
30	1.302	0.685	0.096	1.402	0.642	0.090	1.476	0.617	0.086	1.509	0.608	0.085
40	1.135	0.968	0.113	1.252	0.930	0.109	1.338	0.908	0.106	1.377	0.899	0.105
50	0.780	1.099	0.103	0.875	1.073	0.101	0.945	1.059	0.100	0.976	1.053	0.099
60	0.453	1.108	0.079	0.513	1.094	0.078	0.558	1.087	0.077	0.578	1.083	0.077
70	0.240	1.114	0.053	0.274	1.109	0.053	0.299	1.105	0.053	0.310	1.104	0.053
80	0.106	1.166	0.029	0.121	1.165	0.029	0.133	1.164	0.029	0.138	1.163	0.029
90	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002
100	-0.106	1.166	-0.024	-0.121	1.165	-0.024	-0.133	1.164	-0.024	-0.138	1.163	-0.024
110	-0.240	1.114	-0.049	-0.274	1.109	-0.049	-0.299	1.105	-0.049	-0.310	1.104	-0.049
120	-0.453	1.108	-0.074	-0.513	1.094	-0.073	-0.558	1.087	-0.073	-0.578	1.083	-0.073
130	-0.780	1.099	-0.099	-0.875	1.073	-0.097	-0.945	1.059	-0.095	-0.976	1.053	-0.095
140	-1.135	0.968	-0.109	-1.252	0.930	-0.105	-1.338	0.908	-0.103	-1.377	0.899	-0.102
150	-1.302	0.685	-0.093	-1.402	0.642	-0.087	-1.476	0.617	-0.084	-1.509	0.608	-0.083
160	-1.160	0.365	-0.058	-1.212	0.332	-0.053	-1.250	0.313	-0.050	-1.267	0.305	-0.049
170	-0.874	0.140	-0.025	-0.886	0.123	-0.022	-0.895	0.114	-0.021	-0.899	0.110	-0.020
180	-0.748			-0.748			-0.748			-0.748		

表-7(4) 技術基準の式による風抗力係数の比較 (一般貨物船, 空載状態)

θ°	技術基準 1,000 D. W. T.			技術基準 10,000D. W. T.			技術基準 50,000D. W. T.			技術基準 100,000 D. W. T.		
	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>m</sub>	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>m</sub>	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>m</sub>	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	C <sub>m</sub>
0	0.750			0.750			0.750			0.750		
10	0.754	0.195	0.036	0.764	0.172	0.032	0.772	0.159	0.030	0.775	0.154	0.029
20	0.717	0.460	0.075	0.749	0.419	0.068	0.773	0.395	0.064	0.783	0.385	0.063
30	0.529	0.776	0.109	0.570	0.728	0.102	0.600	0.700	0.098	0.614	0.689	0.096
40	0.278	1.025	0.120	0.306	0.985	0.115	0.327	0.961	0.112	0.337	0.952	0.111
50	0.100	1.124	0.106	0.112	1.098	0.103	0.121	1.083	0.102	0.125	1.077	0.101
60	0.023	1.116	0.079	0.027	1.103	0.078	0.029	1.095	0.078	0.030	1.092	0.078
70	0.003	1.117	0.054	0.004	1.111	0.053	0.004	1.108	0.053	0.004	1.106	0.053
80	0.000	1.167	0.029	0.000	1.165	0.029	0.000	1.164	0.029	0.000	1.164	0.029
90	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002	0.000	1.200	0.002
100	-0.000	1.167	-0.024	-0.000	1.165	-0.024	-0.000	1.164	-0.024	-0.000	1.164	-0.024
110	-0.003	1.117	-0.049	-0.004	1.111	-0.049	-0.004	1.108	-0.049	-0.004	1.106	-0.049
120	-0.023	1.116	-0.075	-0.027	1.103	-0.074	-0.029	1.095	-0.073	-0.030	1.092	-0.073
130	-0.100	1.124	-0.101	-0.112	1.098	-0.099	-0.121	1.083	-0.097	-0.125	1.077	-0.097
140	-0.278	1.025	-0.116	-0.306	0.985	-0.111	-0.327	0.961	-0.109	-0.337	0.952	-0.108
150	-0.529	0.776	-0.106	-0.570	0.728	-0.099	-0.600	0.700	-0.095	-0.614	0.689	-0.094
160	-0.717	0.460	-0.073	-0.749	0.419	-0.067	-0.773	0.395	-0.063	-0.783	0.385	-0.061
170	-0.754	0.195	-0.036	-0.764	0.172	-0.031	-0.772	0.159	-0.029	-0.775	0.154	-0.028
180	-0.750			-0.750			-0.750			-0.750		

に関するパラメータが風抗力係数に及ぼす影響は極めて小さいといえる。したがって、イシャウッドの提案に基づいて風抗力係数を算定する際、計算に必要な船体諸元が得られない場合には、表-6に示されている船体諸元に関するパラメータの値を用いて風抗力係数を推定しても実用上問題がないものと思われる。

### 3.3 技術基準の式および船研の実験値との比較

#### a) 風荷重合力の作用する方向φの影響

イシャウッドの提案と技術基準の式および船研の実験値を表-8に示す条件について比較した。ここでは、これらの提案値等において、同種の船舶の風抗力係数の計算式が提案されている巨大タンカーおよび一般貨物船について比較・検討する。比較は風抗力係数  $C_x$ ,  $C_y$ ,

$C_m$  について行う。技術基準の式では、 $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_m$  は先に示した式(15)~(17)を用いて求めるものとする。ここでは、風荷重合力の作用する方向φと  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_m$  について検討する。

図-9は、一般貨物船についてイシャウッドの提案から求めたφ、式(1)で示される岩井らの式、式(2)および(3)で示される技術基準の式について、 $q=3, 4, 5$ として求めたφを示したものである。技術基準では、一般貨物船については $q=5$ としている。また、イシャウッドの提案ではφが示されていないので、式(1)および(2)より得られる式(3)より求めた。

$$\tan \phi = \frac{R_y}{R_x} = \frac{A_L C_y}{A_T C_x} \quad (23)$$

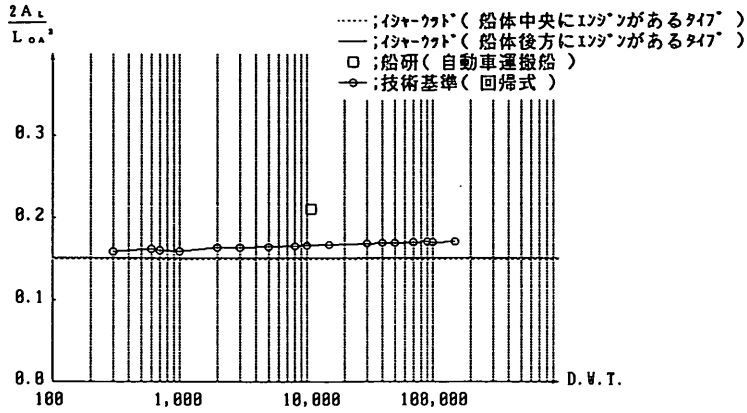


図-3(1)  $D.W.T. \sim 2A_L / L_{oa}^2$

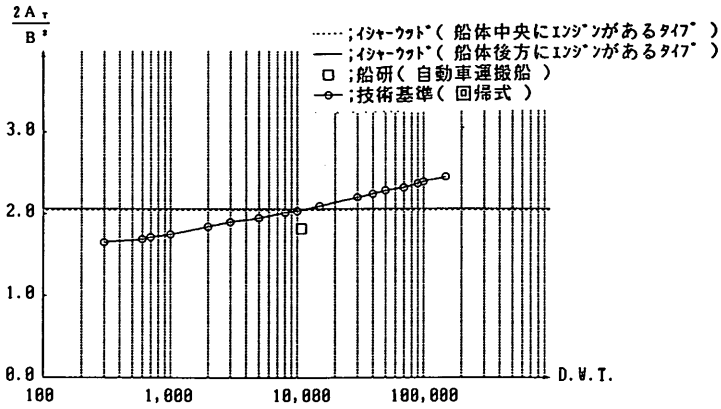


図-3(2)  $D.W.T. \sim 2A_T / B^2$

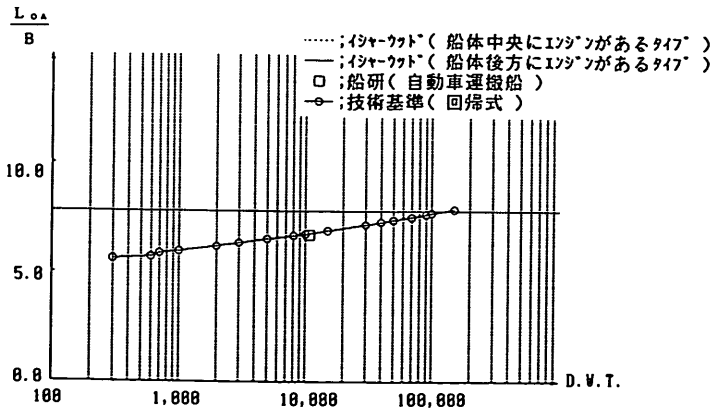


図-3(3)  $D.W.T. \sim L_{oa} / B$

図-3 船体諸元に関するパラメータの比較 一般貨物船 (空船時)

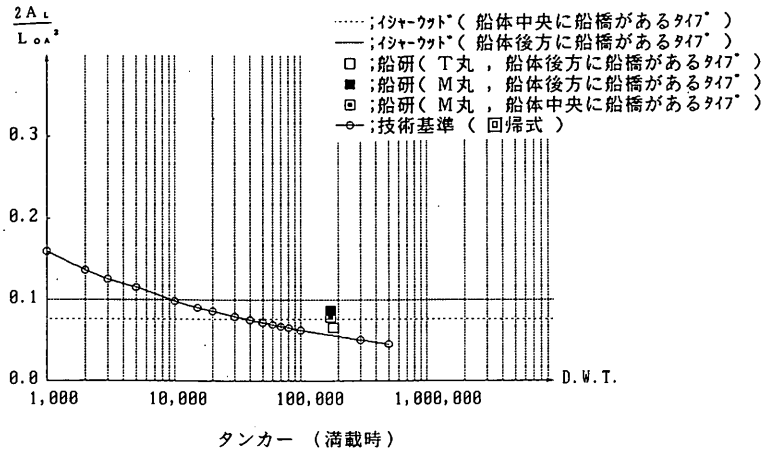


図-4(1)  $D.W.T. \sim 2A_L / L_{0\alpha}^2$

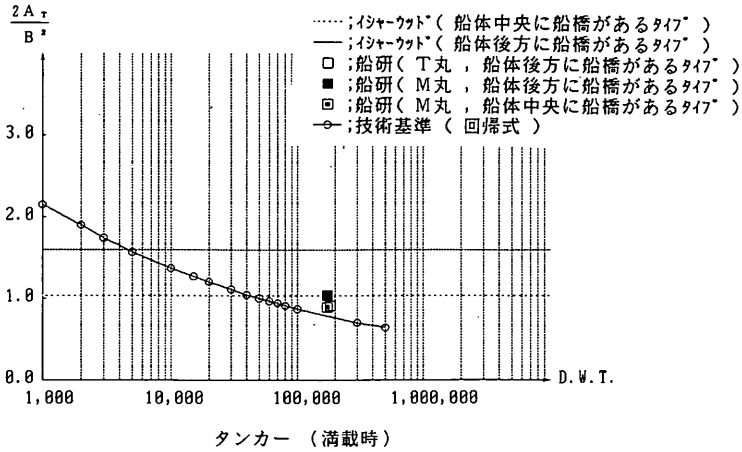


図-4(2)  $D.W.T. \sim 2A_T / B^2$

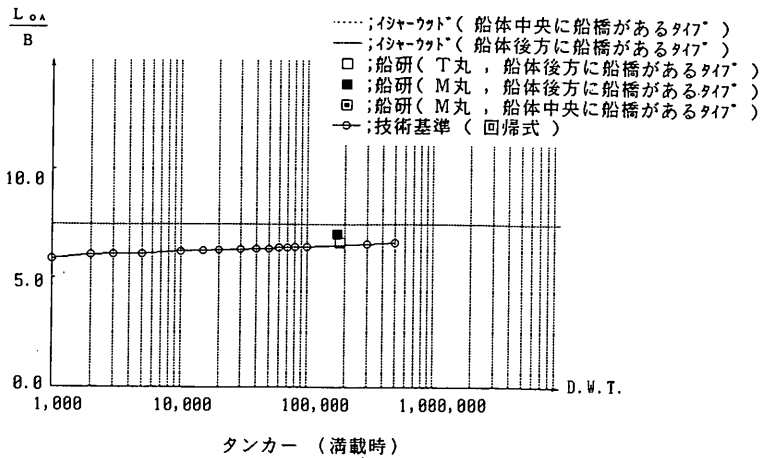


図-4(3)  $D.W.T. \sim L_{0\alpha} / B$

図-4 船体諸元に関するパラメータの比較 タンカー (満載時)

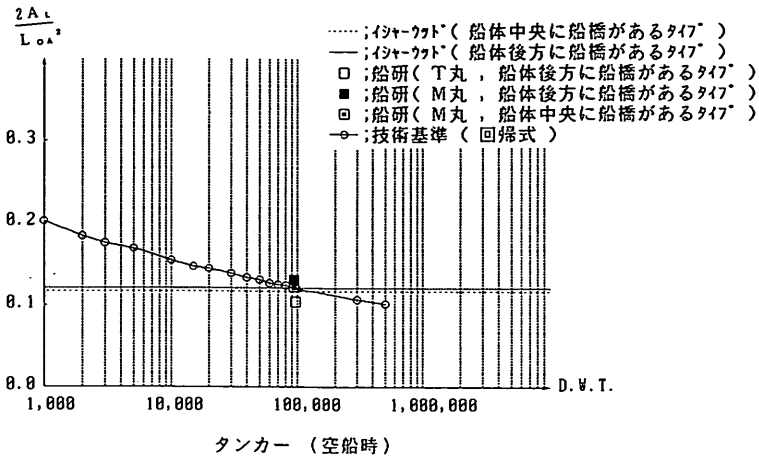


図-5(1)  $D.W.T. \sim 2A_L / L_{OA}^2$

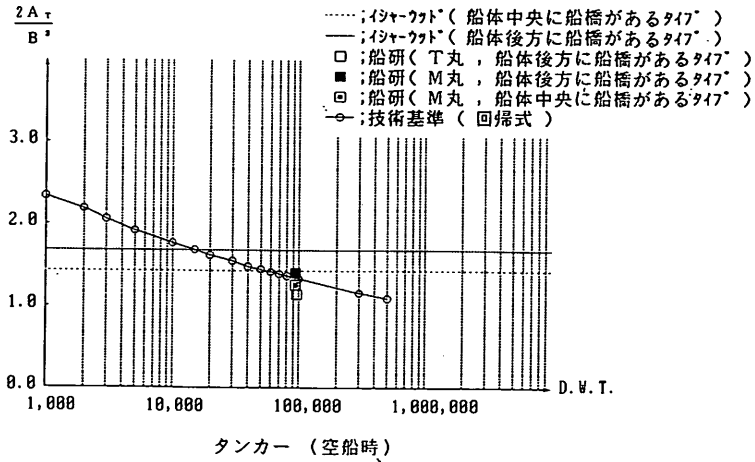


図-5(2)  $D.W.T. \sim 2A_T / B^2$

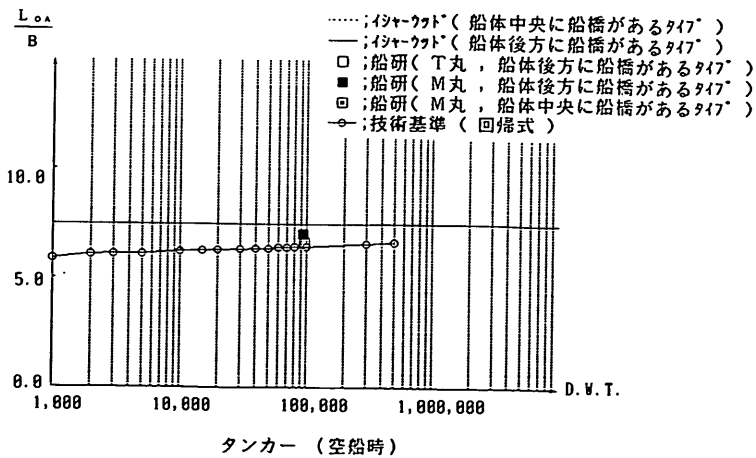


図-5(3)  $D.W.T. \sim L_{OA} / B$

図-5 船体諸元に関するパラメータの比較 タンカー (空船時)



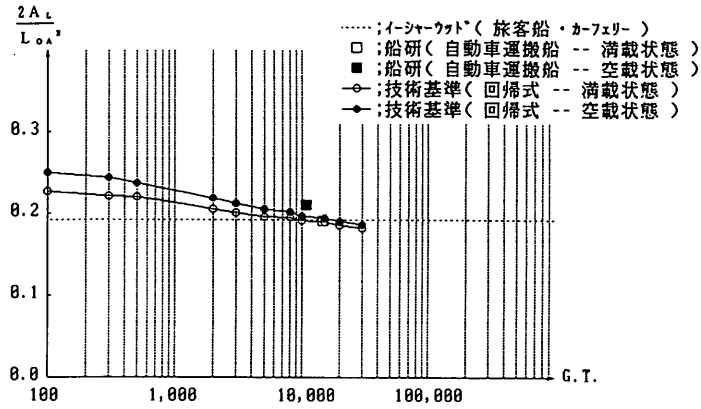


図-6(1)  $G.T. \sim 2A_L / L_{0\alpha}^2$

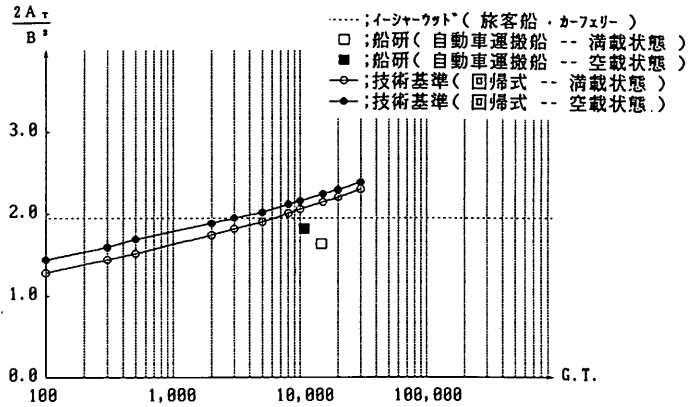


図-6(2)  $G.T. \sim 2A_T / B^2$

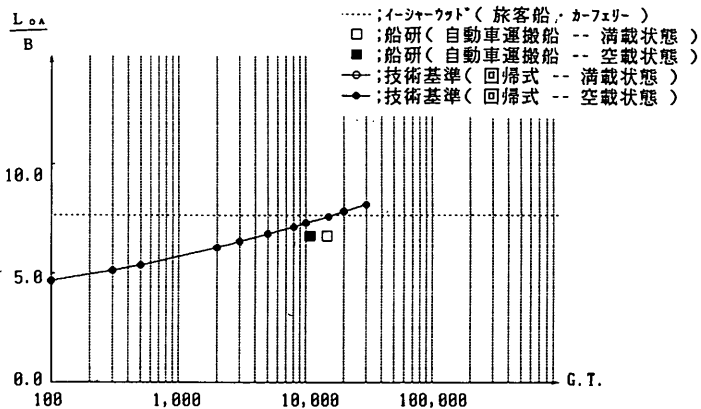


図-6(3)  $G.T. \sim L_{0\alpha} / B$

図-6 船体諸元に関するパラメータの比較 旅客船

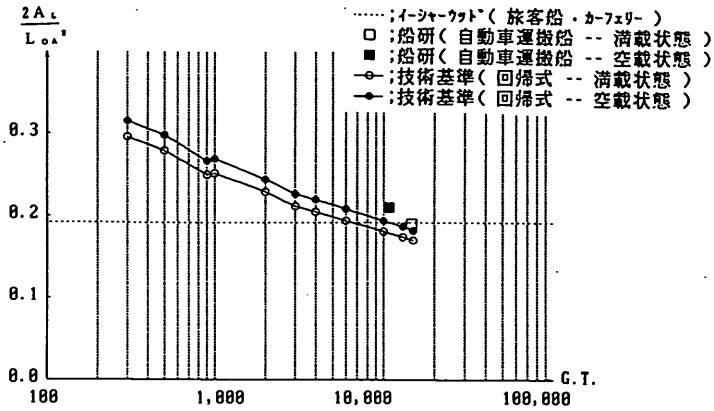


図-7(1)  $G.T. \sim 2A_L / L_{oa}^3$

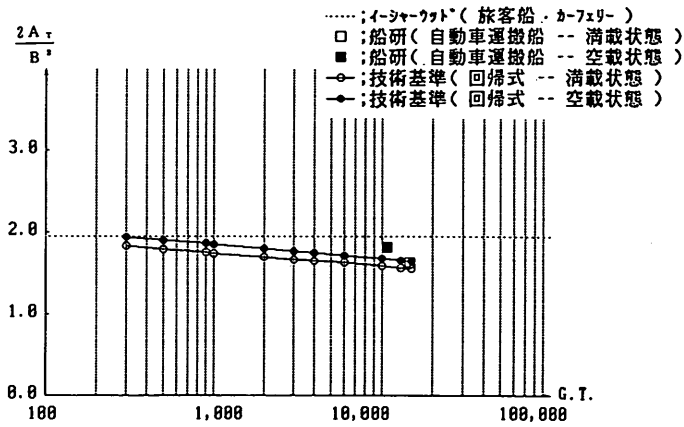


図-7(2)  $G.T. \sim 2A_T / B^3$

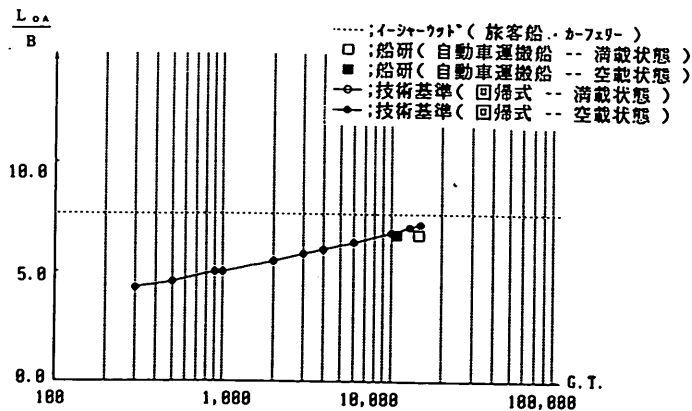


図-7(3)  $G.T. \sim L_{oa} / B$

図-7 船体諸元に関するパラメータの比較 カーフェリー

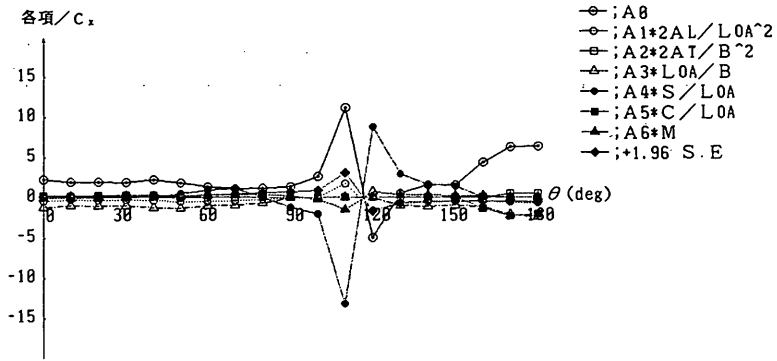


図-8(1) 風向 $\theta$ ~各項/ $C_x$

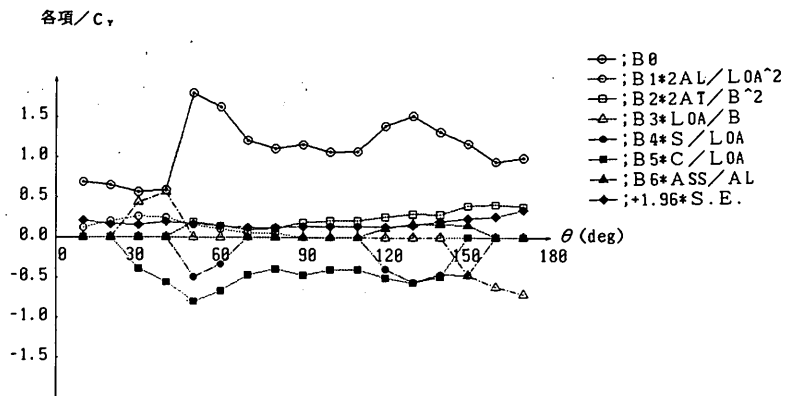


図-8(2) 風向 $\theta$ ~各項/ $C_y$

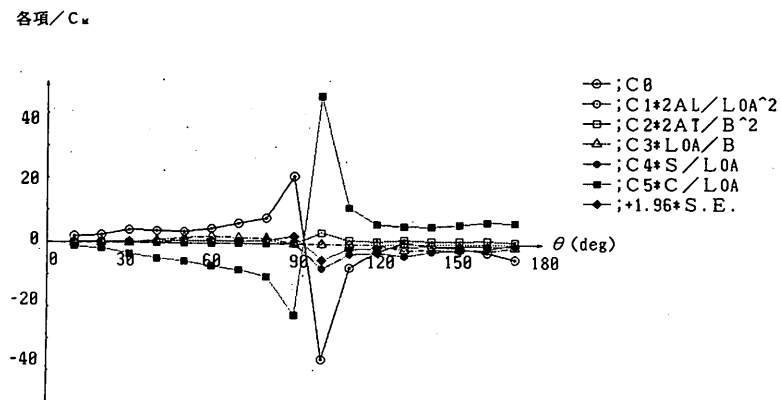


図-8(3) 風向 $\theta$ ~各項/ $C_m$

図-8 各項と風抗力係数との比 (標準誤差の項:  $+1.96 * SE$ )

旅客船, カーフェリー

表-8 風抗力係数の比較検討ケース

比較 ケース	検討ケース (船研の実験値)	Isherwoodの提案値 (船種の番号)	技術基準の提案値				比較結果 図番号
			$A_T$ (n <sup>2</sup> )	$A_L$ (n <sup>2</sup> )	$Q$ (n)	船種	
1	巨大タンカー-T丸 (船橋が後方にあるタイプ, 満載状態)	8	1,030.0	3,212.0	290	タンカー	図-13
2	巨大タンカー-T丸 (船橋が後方にあるタイプ, 空載状態)	9	1,280.0	5,180.0	290	タンカー	図-14
3	巨大タンカー-M丸 (船橋が後方にあるタイプ, 満載状態)	8	993.5	4,135.6	304	タンカー	図-15
4	巨大タンカー-M丸 (船橋が後方にあるタイプ, 空載状態)	9	1,363.1	6,270.4	304	タンカー	図-16
5	巨大タンカー-M丸 (船橋が中央にあるタイプ, 満載状態)	6	861.8	3,719.7	304	タンカー	図-17
6	巨大タンカー-M丸 (船橋が中央にあるタイプ, 空載状態)	7	1,215.3	5,845.3	304	タンカー	図-18
7	一般貨物船 (船研の実験値は無し) (満載状態) (空載状態)	2, 3, 4, 5	回帰式により算定		貨物船	図-19 ~ 図-20	

注) Isherwoodの提案値にて選択する船種の番号は表-6にて示した番号と同一である。  
表中 $A_T$ ,  $A_L$ ,  $Q$  は技術基準の式を用いて計算した時に入力した値を示す。

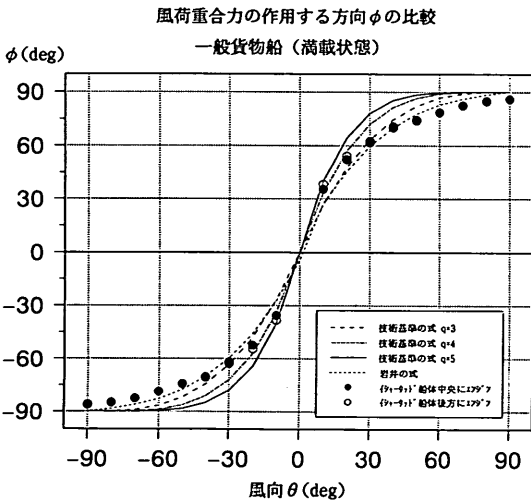


図-9 近似式の違いによる風荷重合力が船体中心線となす角  $\phi$  の比較

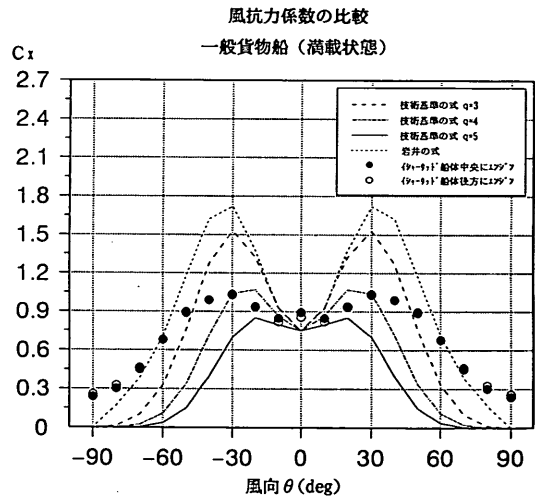


図-10 近似式の違いによる風抗力係数の  $C_x$  の比較 (一般貨物船, 満載状態)

ただし、 $\phi$  は標準誤差として  $\pm 1.96SE$  を考えて計算した  $C_x$ ,  $C_T$  の絶対値の大きいものに対して計算している。例えば、 $C_x$  については、風向  $\theta$  が  $0^\circ \sim 90^\circ$  の範囲では  $+1.96SE$  に対するもの、また、 $90^\circ \sim 180^\circ$  の範囲までは  $-1.96SE$  に対するものである。

図中において●は、イシャーウッドの提案について、船体中央にエンジンのあるタイプ、○は船体後方にエンジンのあるタイプの  $\phi$  を示している。イシャーウッドの提案から求められる  $\phi$  は、 $\theta > 20^\circ$  および  $\theta < 20^\circ$  の範囲では岩井の式とおおむね一致する。しかしながら、 $-20^\circ < \theta < 20^\circ$  の範囲では、岩井の式による  $\phi$  はイシャーウッドの提案による計算値よりも小さい。また、この範囲で岩井の式と技術基準の式とを比較しても、岩井の式

による  $\phi$  は技術基準の式によるものよりもかなり小さく、特に  $q=5$  のときに顕著である。この点について鈴木らは、一点係留船舶の振り回り計算においては  $\theta$  の小さな範囲  $-20^\circ < \theta < 20^\circ$  における  $\phi$  の与え方が計算値に大きな影響を及ぼすことから、岩井の式を修正して式(12)および(13)を提案し、貨物船については  $q=5$  を用いることを提案している。図-9に示すように、イシャーウッドによる  $\phi$  と、技術基準の式において  $q=5$  として計算した  $\phi$  を比較すると、 $-10^\circ < \theta < 10^\circ$  の範囲ではイシャーウッドの提案による  $\phi$  と技術基準の式による  $\phi$  はおおむね等しいが、 $-20^\circ < \theta < -10^\circ$  および  $10^\circ < \theta < 20^\circ$  の範囲では、イシャーウッドの提案による  $\phi$  は技術基準の式による  $\phi$  よりも小さい。 $\phi$  の相違による一点係留船舶の振り

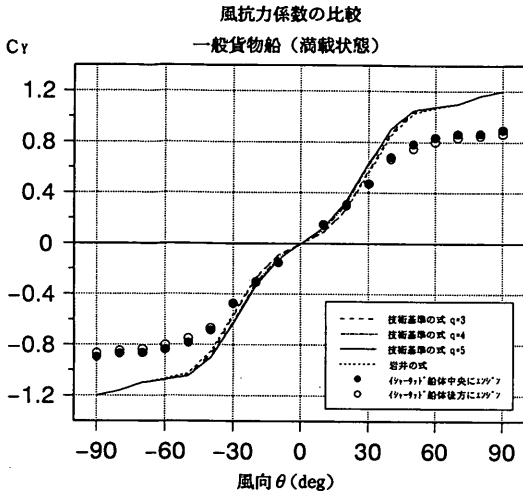


図-11 近似式の違いによる風抗力係数の  $C_Y$  の比較 (一般貨物船, 満載状態)

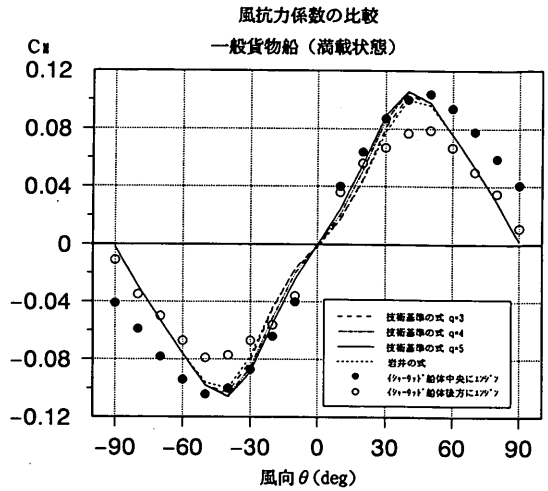


図-12 近似式の違いによる風抗力係数の  $C_M$  の比較 (一般貨物船, 満載状態)

回り計算の値に及ぼす影響については後述する。

図-10~12は、図-9に示した $\phi$ を用いて式(15)~(17)で求められる風抗力係数とイシャーウッドの提案により求めた風抗力係数とを比較したものである。図-10は  $C_x$  について示したものであるが、技術基準の式においては  $q$  を3~5に変化させると、図-9に示したように  $\phi$  の値がかなり変化するので、 $C_x$  に大きな相違がみられ、 $q=5$  のときには  $q=3$  のときの1/2以下にもなる。これに対して、岩井の式による  $C_x$  は、 $q=3$  のときの  $C_x$  よりもさらに大きい。イシャーウッドの提案と技術基準の式から求められる  $C_x$  を比較すると、 $-20^\circ < \theta < 20^\circ$  の範囲ではおおむね等しいが、 $-90^\circ < \theta < -20^\circ$  および  $20^\circ < \theta < 90^\circ$  ではイシャーウッドの提案の方が技術基準の式による  $C_x$  よりかなり大きくなる。

図-11は  $C_Y$  について示したものであるが、技術基準の式において  $q=3\sim5$  とするものと岩井の式との差異はほとんど無い。これに対し、イシャーウッドの提案による  $C_Y$  の絶対値は  $\theta > 30^\circ$ 、 $\theta < -30^\circ$  の範囲では技術基準の式の  $C_Y$  に比べてやや小さくなる。

図-12は  $C_M$  について示したものであるが、技術基準の式において  $q=3\sim5$  とするものと岩井の式による  $C_M$  の差異は  $C_Y$  と同様ほとんど無い。技術基準の式の  $C_M$  はイシャーウッドの提案と比べて、船体中央にエンジンがある場合については、 $-50^\circ < \theta < 50^\circ$  ではほぼ等しいが、 $-90^\circ < \theta < -50^\circ$  および  $50^\circ < \theta < 90^\circ$  では小さい。また、船体後方にエンジンがあるものと比べると  $\theta =$

$\pm 40^\circ$  付近では約1.3倍であるが、その他の風向ではおおむね等しい。

以上の図より、一般貨物船について技術基準の式による  $\phi$  とイシャーウッドの提案から求めた  $\phi$  とは相違が大きいこと、また、この相違が抗力係数  $C_x$  に大きな影響を及ぼすことがわかった。したがって、以下の考察ではそれらの点をふまえて検討するものとする。

表-8に示した比較ケースのうち1~6は、船研の実験における対象船舶の風抗力係数をイシャーウッドの提案および技術基準の式と対比したケースであり、これらの結果を図-13~図-18に示す。ただし、イシャーウッドの提案による計算値については、標準誤差の影響を考慮して平均値  $\pm 1.96SE$  について、それぞれ「イシャーウッド  $+1.96SE$ 」「イシャーウッド  $-1.96SE$ 」として図示している。

比較ケース7は、1,000D. W. T. ~100,000D. W. T. の一般貨物船(ばら積船, バルクキャリア鉱石船を含む)のうち4種類の船型の満載状態および空載状態について、技術基準の式により風抗力係数を算定し、イシャーウッドの提案による計算値と比較したものである。イシャーウッドの提案は表-6に示した船体に関するパラメータの平均値を用いて計算しているので船型にかかわらず全て同じ値である。また、本資料の3.2で示したように、一般貨物船について、岩井の式における風抗力係数  $C_x$ 、 $C_Y$ 、 $C_M$  と技術基準の式における風抗力係数  $C_x$ 、 $C_Y$ 、 $C_M$  はほとんど差異がないので、ここでは一般貨物船

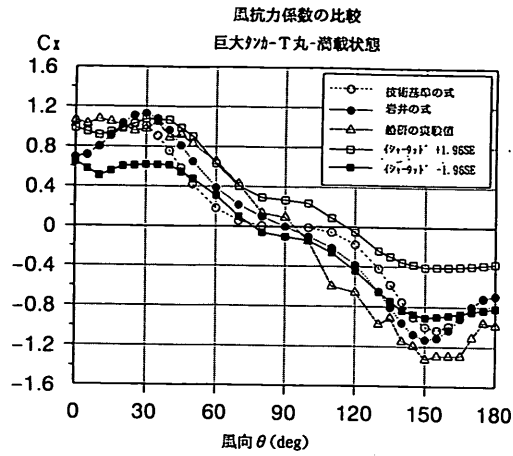


図-13(1) 風向 $\theta \sim C_x$

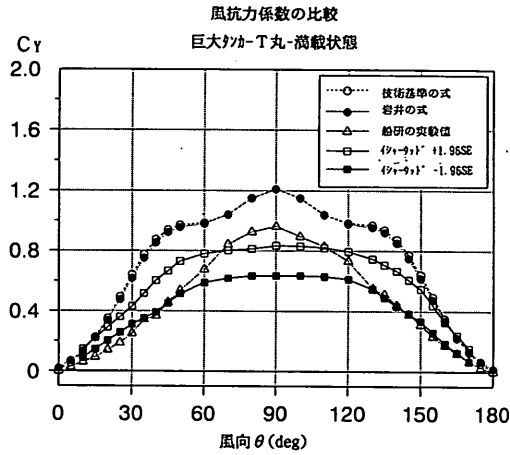


図-13(2) 風向 $\theta \sim C_y$

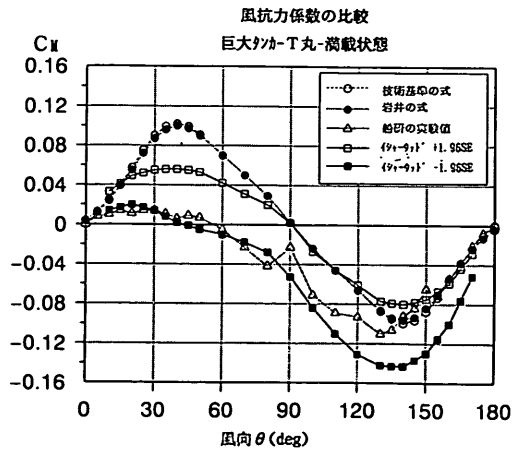


図-13(3) 風向 $\theta \sim C_M$

図-13 風抗力係数の比較 巨大タンカー-T丸(船橋が後方にあるタイプ、満載状態)

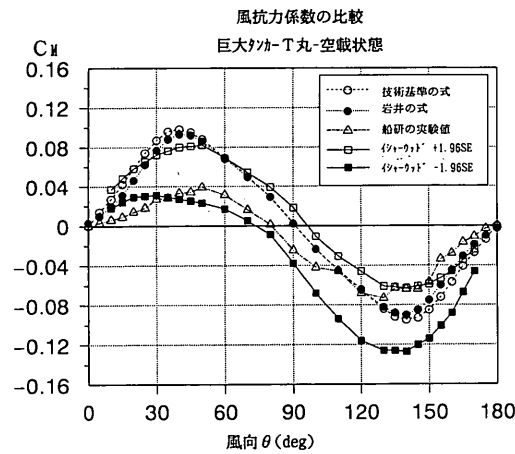
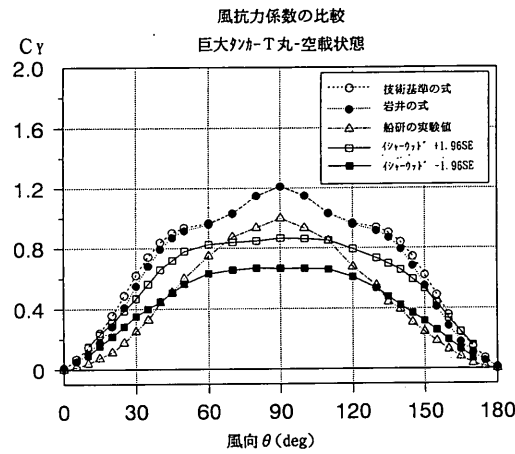
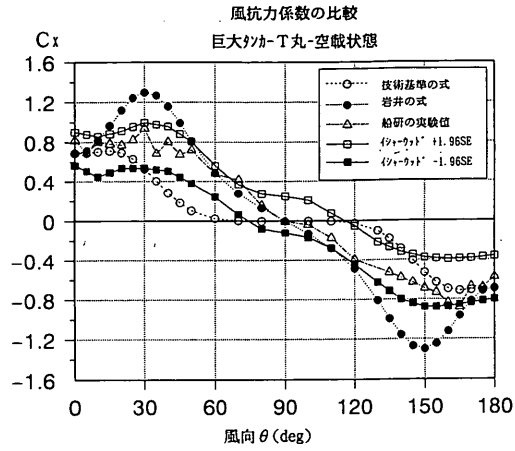


図-14 風抗力係数の比較 巨大タンカー-T丸(船橋が後方にあるタイプ, 空載状態)

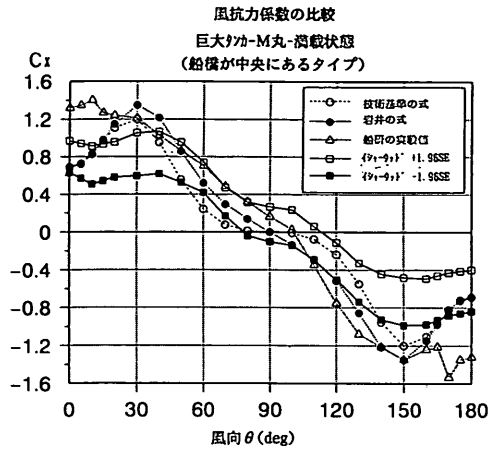


図-17(1) 風向  $\theta \sim C_x$

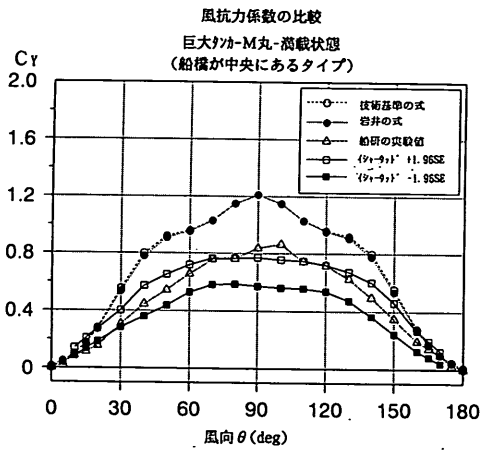


図-17(2) 風向  $\theta \sim C_y$

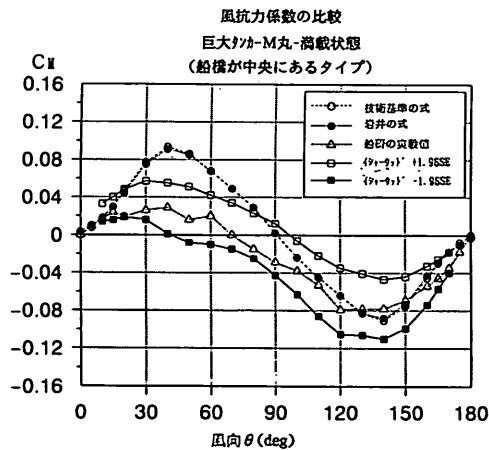


図-17(3) 風向  $\theta \sim C_m$

図-17 風抗力係数の比較 巨大タンカー-M丸(船橋が中央にあるタイプ, 満載状態)



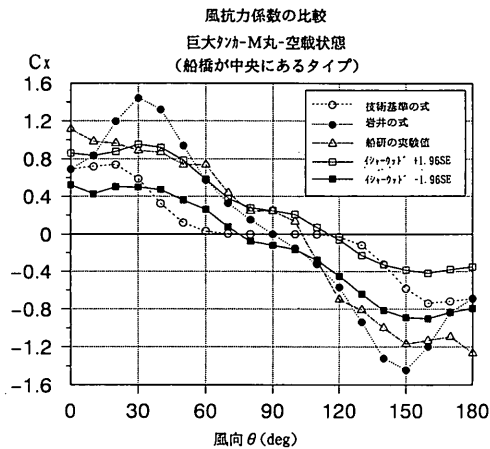


図-18(1) 風向  $\theta \sim C_x$

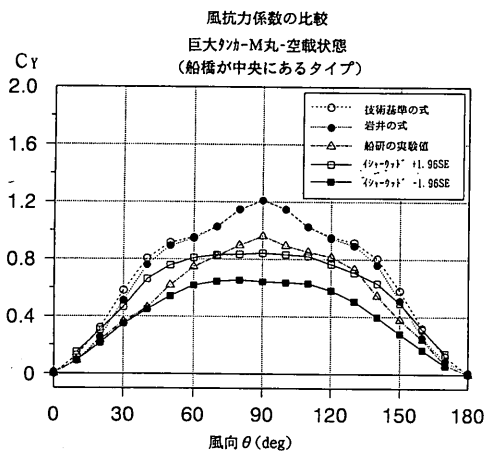


図-18(2) 風向  $\theta \sim C_y$

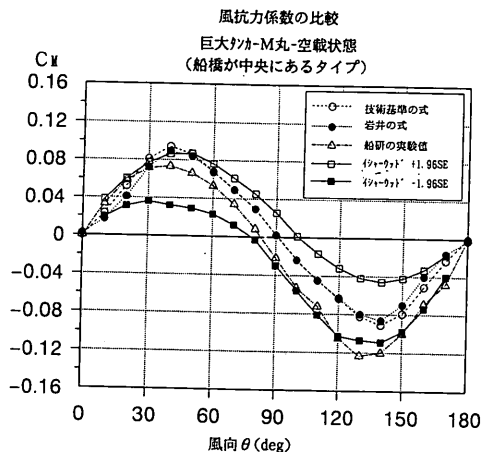


図-18(3) 風向  $\theta \sim C_M$

図-18 風抗力係数の比較 巨大タンカー-M丸 (船橋が中央にあるタイプ, 空載状態)

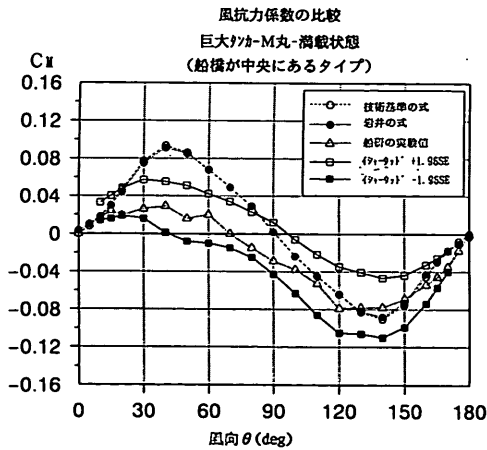
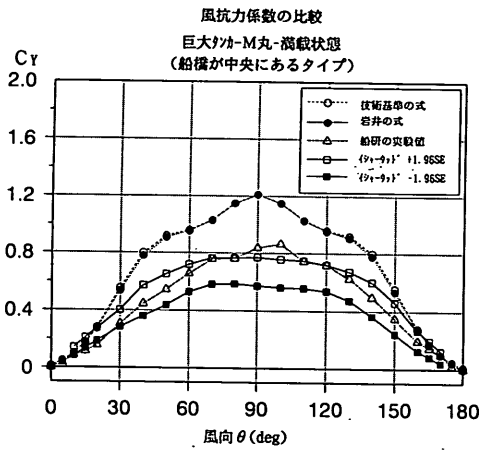
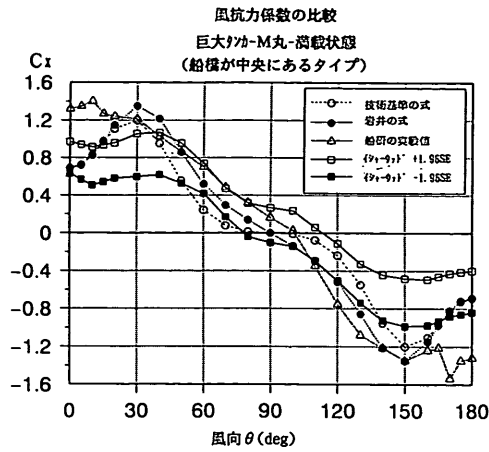


図-17 風抗力係数の比較 巨大タンカー-M丸 (船橋が中央にあるタイプ, 満載状態)

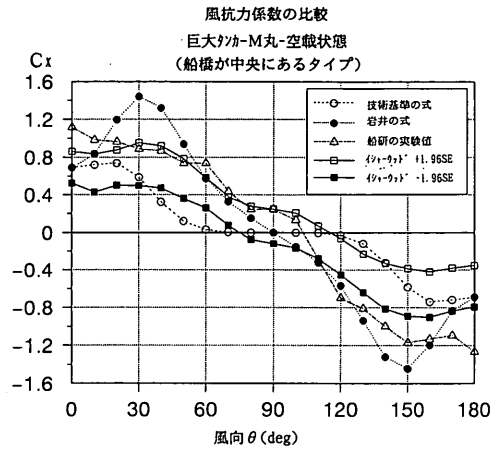


図-18(1) 風向  $\theta \sim C_x$

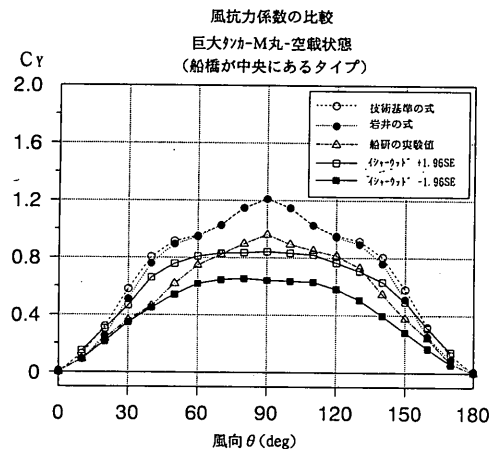


図-18(2) 風向  $\theta \sim C_y$

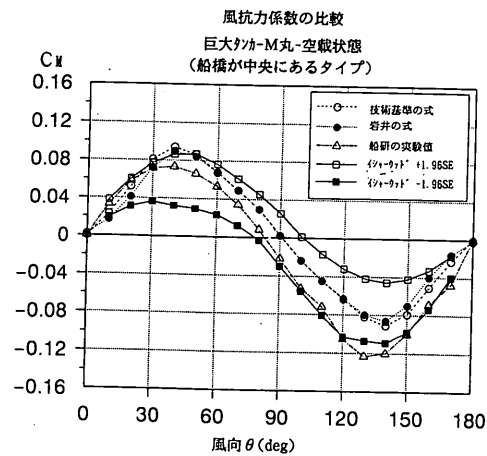


図-18(3) 風向  $\theta \sim C_M$

図-18 風抗力係数の比較 巨大タンカー M丸 (船橋が中央にあるタイプ, 空載状態)

10,000 D. W. T. を比較したものを、満載状態および空載状態について、それぞれ、図-19および図-20に示す。

また、表-8において、「Isherwood の提案値」の欄には表-6で示した船体諸元のパラメータの平均値を参照する際に選択した船種の番号を示している。また、技術基準の提案において示した  $A_T$ 、 $A_L$ 、 $l$  はそれぞれ計算に用いた船舶の水面上船体正面投影面積、水面上船体側面投影面積、垂線間長を示しており、「船種」の欄には風抗力係数を算定する際に選択した船種を示している。なお、技術基準の式により風抗力係数を算定するとき、風荷重合力の作用する方向  $\phi$  は前述したように  $C_x$  に大きな影響を与える。そこで以下の図においては  $\phi$  として式(1)の岩井の式と式(2)（ただし、 $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ）の技術基準の式によるものをそれぞれ採用したときの値について併記して示している。

#### b) タンカーについて（図-13～図-18）

船研の実験値が提示されている三種類のタンカー、すなわち、巨大タンカー T 丸（船橋が後方にあるタイプ）、巨大タンカー M 丸（船橋が後方にあるタイプ）、巨大タンカー M 丸（船橋が中央にあるタイプ）の満載状態および空載状態に対して風抗力係数を比較した。イシャーウッドの提案では「タンカー・鉱石運搬船」として提示されており、船橋の位置および載荷状態について、その影響が考慮されている。技術基準の式を用いて計算する際には、個々の船舶の投影面積および垂線間長を用いるので、船型および載荷状態の影響が考慮されるが、船橋の位置の影響については考慮されない。これらの提案による風抗力係数を比較して以下のことが言える。

- ①  $C_x$  については、岩井の式による計算値では風向  $30^\circ$  付近で最大、 $150^\circ$  付近で最小になっているのに対し、技術基準の式による計算値、船研の実験値およびイシャーウッドの提案による計算値では、そのような傾向は見られない。また、空載状態において、岩井の式による計算値は他の2つの方法による値と比べて大きい。
- ②  $C_y$  については、岩井の式および技術基準の式による計算値は、船研の実験値およびイシャーウッドの提案による計算値と比べて大きい。技術基準の式による  $C_y$  は、イシャーウッドの提案による計算値の1.4～1.5倍である。
- ③  $C_M$  については、岩井の式および技術基準の式による計算値は、 $0^\circ \sim 90^\circ$  における値と  $90^\circ \sim 180^\circ$  における値がほぼ対称であるが、イシャーウッドの提案による計算値および船研の実験値では対称ではない。 $C_M$  の値は船橋の位置、載荷状態によってかなり相違する。例えば、イシャーウッドの提案による計算値について、

風向  $\theta$  が  $0^\circ \sim 90^\circ$  の範囲における  $C_M$  の最大値を、船橋が中央にあるタイプの満載状態と、船橋が後方にあるタイプの満載状態について比較すると、それぞれ、0.057、0.056、また、空載状態については、それぞれ、0.087、0.082であって、この範囲においては差異はあまりない。しかし、風向  $\theta$  が  $90^\circ \sim 180^\circ$  の範囲における満載状態については、それぞれ、0.110、0.143、また、空載状態については、それぞれ、0.109、0.127である。イシャーウッドの提案による計算値では、船尾側から風が吹く場合の  $C_M$  は、船首側のその約1.2～2.5倍である。

次に船研の実験値について、風向  $\theta$  が  $0^\circ \sim 90^\circ$  の範囲でモーメント係数  $C_M$  の最大値を船橋が中央にあるタイプの満載状態と船橋が後方にあるタイプの満載状態とを比較すると、それぞれ、0.029、0.032、また、空載状態については、それぞれ、0.073、0.052である。これらの数値は、イシャーウッドの提案による計算値の約0.5倍～0.8倍である。また、風向  $\theta$  が  $90^\circ \sim 180^\circ$  の範囲における絶対値の最大値は、満載状態について、それぞれ、0.079、0.117、空載状態では、それぞれ、0.123、0.140である。これらの数値はイシャーウッドの提案による計算値の約0.5倍～1.1倍である。船研の実験値については、船橋が中央にあるタイプ（M丸）の空載状態および船橋が後方にあるタイプ（M丸）の空載状態については、イシャーウッドの提案による計算値よりも大きな  $C_M$  の値が得られている。

技術基準の式は、船橋、載荷状態を考慮することができないので、風向  $\theta$  が  $0^\circ \sim 90^\circ$ 、および  $90^\circ \sim 180^\circ$  における  $C_M$  の絶対値の最大値を示すと、それぞれ、0.102、0.098である。この値は、イシャーウッドの提案による計算値と比較すると風向  $\theta$  が  $0^\circ \sim 90^\circ$  では大きい、 $90^\circ \sim 180^\circ$  では小さい。

#### c) 一般貨物船について（図-19～図-20）

一般貨物船については、船研の実験値は風抗力係数が示されていないので、技術基準の式およびイシャーウッドの提案による計算値を比較する。図-19および図-20は、10,000 D. W. T. 貨物船について、それぞれ満載状態および空載状態の風抗力係数を比較したものである。それぞれの方法で求められる風抗力係数を比較した結果より以下のことが言える。

- ①  $C_x$  については、イシャーウッドの提案による計算値は、エンジンの位置による影響はほとんどない。また、岩井の式による計算値は、風向  $30^\circ$  および  $150^\circ$  付近でイシャーウッドの提案による計算値に比べて大きくなっている。とくに、空載状態のときに大きい。次に、技

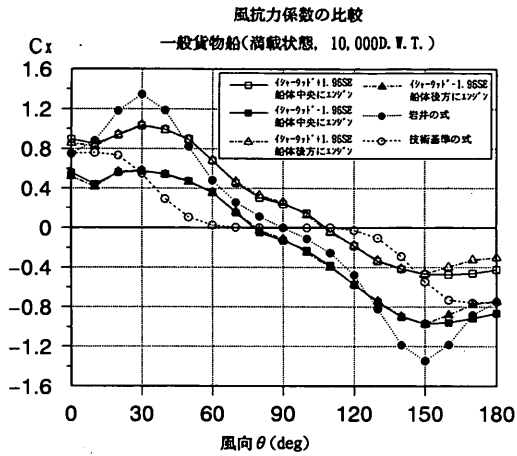


図-19(1) 風向  $\theta \sim C_x$

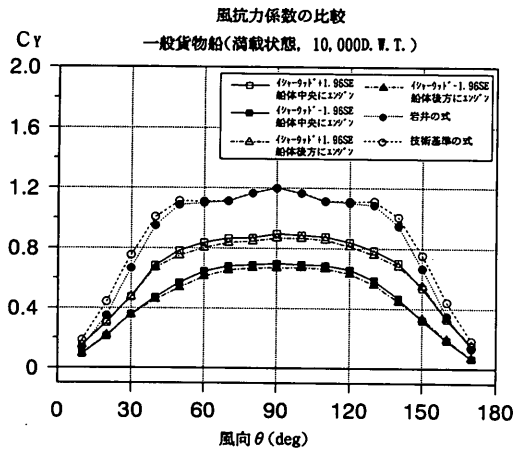


図-19(2) 風向  $\theta \sim C_y$

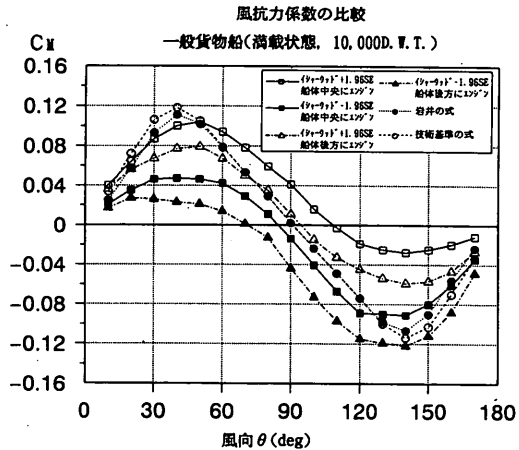


図-19(3) 風向  $\theta \sim C_M$

図-19 風抗力係数の比較 一般貨物船 (10,000D. W. T., 満載状態)

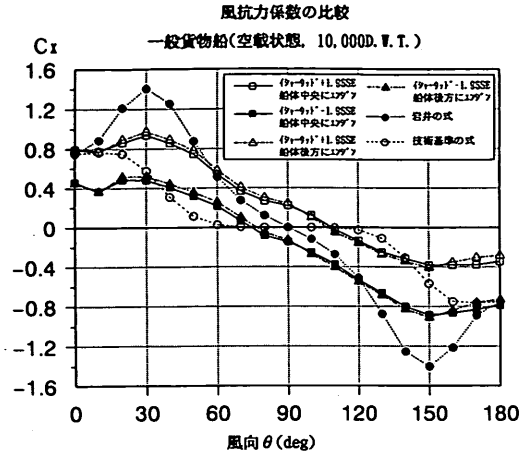


図-20(1) 風向  $\theta \sim C_x$

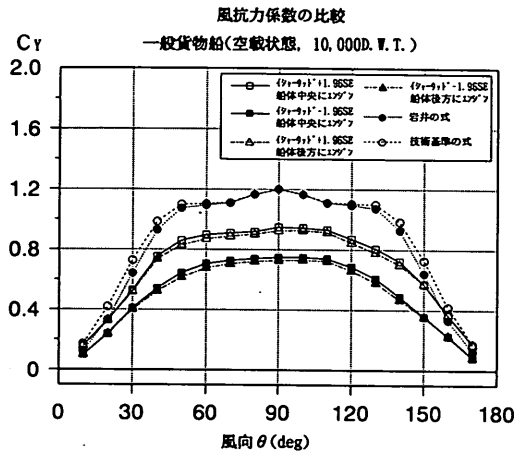


図-20(2) 風向  $\theta \sim C_y$

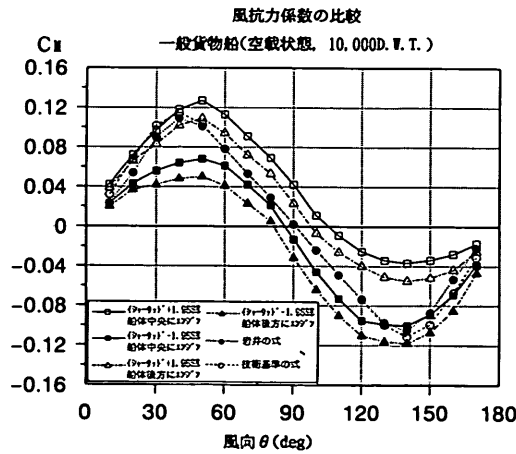


図-20(3) 風向  $\theta \sim C_M$

図-20 風抗力係数の比較 一般貨物船 (10,000 D. W. T., 空載状態)

術基準の式による計算値とイシャーウッドの提案による計算値の絶対値を比較すると、 $0^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$ の範囲では、イシャーウッドの提案による計算値の $+1.96SE$ の値よりも小さく、 $100^\circ < \theta \leq 180^\circ$ ではイシャーウッドの提案の $-1.96SE$ の値よりも小さい。

② $C_Y$ については、岩井の式および技術基準の式による計算値の差異はあまりない。また、岩井の式および技術基準の式による計算値が、載荷状態にかかわらず、全風向においてイシャーウッドの提案による計算値に比べて大きくなっている。

③ $C_M$ については、イシャーウッドの提案による計算値はエンジンの位置の及ぼす影響が大きい。また、岩井の式および技術基準の式による計算値の差異はあまりない。満載状態について、岩井の式および技術基準の式による計算値が、風向 $90^\circ \sim 180^\circ$ の範囲でイシャーウッドの提案の船体後方にエンジンのあるタイプの $-1.96SE$ の値よりもその絶対値が小さい。

また、空載状態については、岩井の式および技術基準の式による値が、風向 $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲でイシャーウッドの提案の船体中央にあるタイプの $+1.96SE$ の値よりも小さい。また、風向 $90^\circ \sim 180^\circ$ では、船体後方にエンジンのあるタイプの $-1.96SE$ の値よりもその絶対値が小さい。

#### 4. イシャーウッドの提案に基づく風抗力係数計算式の提案

##### 4.1 概要

すでに示したように、イシャーウッドの提案は、技術基準の式に比べて比較的多くの船種および載荷状態の風抗力係数を提示している。また、多くの船舶の風洞実験結果を用い、これを船種および載荷状態ごとに統計解析を行って得たものであるため船種および載荷状態ごとに標準的な風抗力係数の数値を示しているものと思われる。しかしながら、風抗力係数の提示の方法がやや難解であるため、これを容易に計算できるように、イシャーウッドの風抗力係数の提案に基づいて簡易な風抗力係数の計算式を提案する。提案する風抗力係数の計算式は、船種、載荷状態ごとに $C_X$ 、 $C_Y$ 、 $C_M$ のそれぞれに対して、風向 $\theta$ のみをパラメータとする $\cos$ 関数、または $\sin$ 関数の形で与えるものとする。

イシャーウッドの提案に基づいて風抗力係数の近似値を求めるに際しては、標準誤差(SE)の項の取扱いについて2つのケースを考え、それぞれについて得られた近似式を用いて行った係岸船舶の動揺計算等の結果に及ぼす影響を明らかにして近似式を提案する。

風抗力係数 $C_X$ 、 $C_Y$ 、 $C_M$ については、各風向に対する風抗力係数の計算において標準誤差の影響を考慮して絶対値の大きい方を採用する方が、動揺計算等において安全側の評価となることは明らかである。したがって、イシャーウッドの提案において、標準誤差の項を $(+1.96SE)$ として計算した値と $(-1.96SE)$ として計算した値を各風向において比較し、絶対値が大きい方を選択し、また、風抗力係数の値が風向 $\theta$ に対して滑らかになるように近似式を提案するものとする。

しかしながら、この様に風抗力係数を設定すると一点係留船舶の振れ回り計算あるいは係岸船舶の動揺計算において、計算値として過大な値を与える恐れもある。この点については、4.3において動揺計算を行い、検討する。

##### 4.2 近似式における標準誤差の取扱い

ここでは、旅客船・カーフェリーと一般貨物船について、 $C_X$ 、 $C_Y$ 、 $C_M$ の標準誤差の項を $(+1.96SE)$ および $(-1.96SE)$ として計算した値を各風向ごとに比較し、絶対値が大きい方を選択して求めた近似式(以下、近似式(絶対値大)と呼ぶ)と、標準誤差の項を0として求めた近似式(以下、近似式(標準誤差=0)と呼ぶ)を求める。

ただし、近似式(絶対値大)については風向 $90^\circ$ 付近において近似式の連続性を保つよう配慮した。また、船体諸元に関するパラメータは表-6の数値を用いるものとし、風向は $10^\circ$ きざみとする。

近似式は $C_X$ 、 $C_Y$ 、 $C_M$ について、それぞれ式(24)~(26)のように設定し、 $\beta_{0j}$ および $\beta_{ij}$  ( $i=1, \dots, 6, j=1, \dots, 3$ )の式の項数を $i+1$ として最大7項までとし、風向 $\theta$ を説明変数として重回帰分析<sup>8)</sup>を行い、最適な項数およびそのときの係数値を求める。

$$C_X = \beta_{01} + \beta_{11} \cdot \cos \theta + \beta_{21} \cdot \cos 2\theta + \dots + \beta_{61} \cdot \cos 6\theta \quad (24)$$

$$C_Y = \beta_{12} \cdot \sin \theta + \beta_{22} \cdot \sin 2\theta + \dots + \beta_{62} \cdot \sin 6\theta \quad (25)$$

$$C_M = \beta_{13} \cdot \sin \theta + \beta_{23} \cdot \sin 2\theta + \dots + \beta_{63} \cdot \sin 6\theta \quad (26)$$

ただし、 $C_Y$ 、 $C_M$ については、風向 $0^\circ$ および $180^\circ$ で値が0となるように $\beta_{02} = \beta_{03} = 0$ とした。

例として一般貨物船(船体中央にエンジンがあるタイプ、満載状態)について、近似式(絶対値大)の重回帰分析結果を表-9に示す。表-9における $\beta_{0j}$ および $\beta_{ij}$ の値は、項数を $i+1$  ( $i=1, \dots, 6$ )とし、各項数

について最も残差平方和が小さくなるようにして求めた近似式の係数を示している。なお、表中の――は、その項が近似式に用いられていないことを示す。 $C_x$ 、 $C_y$  に対する近似式の係数は、イシャード示した係

数  $A_0$ 、 $B_0$  と同じように小数点以下第 3 位まで、また、 $C_M$  に対する近似式の係数は係数  $C_0$  と同じように小数点以下第 4 位まで示している。

また、表-9 において、 $F$  は重回帰分析における分散

表-9 重回帰分析による近似式の算定結果 (絶対値大)

$C_x$  一般貨物船 (船体中央にエンジンがあるタイプ、満載状態)

	$\beta_{01}$	$\beta_{11}$	$\beta_{21}$	$\beta_{31}$	$\beta_{41}$	$\beta_{51}$	$\beta_{61}$	F	残差平方和
2項	0.026	1.052	――	――	――	――	――	653.4	2.71E-01
3項	0.026	1.067	――	-0.146	――	――	――	1419.9	5.96E-02
◎ 4項	0.026	1.072	――	-0.141	――	-0.059	――	2076.3	2.54E-02
5項	0.029	1.072	-0.030	-0.141	――	-0.059	――	2071.2	1.78E-02
6項	0.029	1.072	-0.024	-0.141	-0.023	-0.059	――	2075.6	1.31E-02
7項	0.028	1.072	-0.024	-0.141	-0.025	-0.059	0.008	1650.0	1.26E-02

$C_y$

	$\beta_{12}$	$\beta_{22}$	$\beta_{32}$	$\beta_{42}$	$\beta_{52}$	$\beta_{62}$	F	残差平方和
1項	0.953	――	――	――	――	――	3390.6	3.61E-02
2項	0.953	――	0.045	――	――	――	3143.7	1.82E-02
◎ 3項	0.953	――	0.045	――	-0.036	――	5515.9	6.44E-03
4項	0.953	-0.012	0.045	――	-0.036	――	4816.6	5.11E-03
5項	0.953	-0.012	0.045	0.007	-0.036	――	3818.3	4.72E-03
6項	0.953	-0.012	0.045	0.007	-0.036	-0.004	2960.2	4.62E-03

$C_M$

	$\beta_{13}$	$\beta_{23}$	$\beta_{33}$	$\beta_{43}$	$\beta_{53}$	$\beta_{63}$	F	残差平方和
1項	――	0.1017	――	――	――	――	1144.6	1.14E-03
2項	0.0068	0.1017	――	――	――	――	788.5	7.71E-04
3項	0.0068	0.1017	――	――	――	0.0058	796.8	4.71E-04
◎ 4項	0.0068	0.1017	――	-0.0056	――	0.0058	1391.7	1.86E-04
5項	0.0069	0.1017	――	-0.0056	0.0008	0.0058	1039.2	1.81E-04
6項	0.0069	0.1017	-0.0002	-0.0056	0.0008	0.0058	781.3	1.81E-04

(◎は採用式を示す)



比を示している。分散比  $F$  は式(27)であらわされる<sup>3)</sup>。

$$F = \frac{V_R}{V_e} \quad (27)$$

ここで、 $V_R$  および  $V_e$  は表-10に示すとおりである。

表-9に示した回帰計算結果に対する  $F$  検定の結果は全て5%水準で有意である。また、表-9より、項数の多い回帰式の方が残差平方和が小さい。しかし、分散比  $F$  が大きいものは、近似式の項数が少なくてもある程度の精度が確保することができる。例えば、表-9に示した事例では、 $C_x$ 、 $C_Y$ 、 $C_M$  について、それぞれ項数を4、3、4とするとときに、分散比  $F$  が最大となるので、これらを近似式として採用する。

以上より、各船舶について風向  $\theta$  をパラメータとする近似式を表-11~表-16のように提示する。ただし、表-11~表-13は近似式(絶対値大)、また、表-14~表-16は近似式(標準誤差=0)を示すものである。ここでは、旅客船・カーフェリーおよび一般貨物船(船体中央にエンジンがあるタイプ)

表-10 重回帰分析の分散分析表

変動因	自由度	平方和	分散	分散比 F
全体	n-1	$S_{yy} = \sum_{a=1}^n (y_a - \bar{y})^2$		
回帰平方和	p	$S_R = \sum_{a=1}^n (Y_a - \bar{Y})^2$	$V_R = S_R/p$	$V_R/V_e$
残差平方和	n-p-1	$S_e = \sum_{a=1}^n (y_a - Y_a)^2$	$V_e = S_e/(n-p-1)$	

ここに、

n : データの個数

ここでは風向を10° から170° まで10° ピッチで風抗力係数を求めて、近似を行ったので、n=17である。

p : 説明変数の数

ここでは、係数項の数。

$y_a$  : 重回帰分析の対象となるデータ

ここでは、各風向に対する風抗力係数の値

$Y_a$  : 重回帰分析により得られたデータ

ここでは、各風向に対する近似式の値

$\bar{y}$  : 重回帰分析の対象となるデータの平均値

ここでは、各風向に対する風抗力係数の平均値

$\bar{Y}$  : 重回帰分析により得られたデータの平均値

ここでは、各風向に対する近似式の平均値

の空載状態およびタンカー・鉱石運搬船(船体後方に船橋があるタイプ)の空載状態について動揺計算を行い検討する。このときの近似式を以下の式(28)~(4)に示す。

表-11 風抗力係数の計算式  $C_x$  (絶対値大)

$$C_x = \beta_{01} + \beta_{11} \cdot \cos \theta + \beta_{21} \cdot \cos 2\theta + \beta_{31} \cdot \cos 3\theta + \beta_{41} \cdot \cos 4\theta + \beta_{51} \cdot \cos 5\theta + \beta_{61} \cdot \cos 6\theta$$

船種	$\beta_{01}$	$\beta_{11}$	$\beta_{21}$	$\beta_{31}$	$\beta_{41}$	$\beta_{51}$	$\beta_{61}$
旅客船、カーフェリー	-0.020	0.641	—	0.056	—	-0.064	—
一般貨物船(A・満載状態)	0.026	1.072	—	-0.141	—	-0.059	—
一般貨物船(A・空載状態)	0.008	0.957	—	-0.110	—	-0.049	—
一般貨物船(B・満載状態)	0.043	1.038	—	-0.171	—	-0.070	—
一般貨物船(B・空載状態)	0.022	0.968	—	-0.145	—	-0.057	—
タンカ・鉱石運搬船(C・満載)	0.065	1.094	-0.043	-0.129	—	-0.084	0.026
タンカ・鉱石運搬船(C・空載)	0.038	0.978	—	-0.085	—	-0.068	—
タンカ・鉱石運搬船(D・満載)	0.079	1.047	—	-0.087	—	-0.087	—
タンカ・鉱石運搬船(D・空載)	0.051	0.988	—	-0.076	—	-0.073	—
底引き網漁船	0.026	0.922	—	—	-0.053	-0.068	—
引き船	-0.019	0.963	-0.045	-0.024	-0.018	-0.030	—

表-12 風抗力係数の計算式  $C_V$  (絶対値大)

$$C_V = \beta_{12} \cdot \sin \theta + \beta_{22} \cdot \sin 2\theta + \beta_{32} \cdot \sin 3\theta + \beta_{42} \cdot \sin 4\theta + \beta_{52} \cdot \sin 5\theta + \beta_{62} \cdot \sin 6\theta$$

船種	$\beta_{12}$	$\beta_{21}$	$\beta_{32}$	$\beta_{42}$	$\beta_{52}$	$\beta_{62}$
旅客船、カーフェリー	1.059	—	0.098	—	-0.063	—
一般貨物船(A・満載状態)	0.953	—	0.045	—	-0.036	—
一般貨物船(A・空載状態)	1.012	—	0.054	—	-0.033	-0.017
一般貨物船(B・満載状態)	0.927	—	0.051	—	-0.025	—
一般貨物船(B・空載状態)	0.989	—	0.055	—	-0.024	-0.018
タカ・鉱石運搬船(C・満載)	0.818	—	0.033	—	-0.026	—
タカ・鉱石運搬船(C・空載)	0.899	—	0.042	—	-0.027	—
タカ・鉱石運搬船(D・満載)	0.893	-0.026	0.048	—	-0.028	—
タカ・鉱石運搬船(D・空載)	0.924	—	0.046	—	-0.026	—
底引き網漁船	1.012	—	0.069	-0.020	-0.042	—
引き船	1.019	0.049	0.076	-0.026	-0.021	—

表-13 風抗力係数の計算式  $C_M$  (絶対値大)

$$C_M = \beta_{13} \cdot \sin \theta + \beta_{23} \cdot \sin 2\theta + \beta_{33} \cdot \sin 3\theta + \beta_{43} \cdot \sin 4\theta + \beta_{53} \cdot \sin 5\theta + \beta_{63} \cdot \sin 6\theta$$

船種	$\beta_{13}$	$\beta_{23}$	$\beta_{33}$	$\beta_{43}$	$\beta_{53}$	$\beta_{63}$
旅客船、カーフェリー	0.0151	0.1298	—	-0.0095	—	—
一般貨物船(A・満載状態)	0.0068	0.1017	—	-0.0056	—	0.0058
一般貨物船(A・空載状態)	0.0117	0.1157	—	-0.0074	—	0.0055
一般貨物船(B・満載状態)	-0.0264	0.1063	-0.0069	—	—	0.0084
一般貨物船(B・空載状態)	—	0.1167	—	—	—	—
タカ・鉱石運搬船(C・満載)	-0.0388	0.0849	—	0.0053	—	—
タカ・鉱石運搬船(C・空載)	-0.0173	0.1021	—	—	—	—
タカ・鉱石運搬船(D・満載)	-0.0577	0.1019	-0.0052	0.0069	—	—
タカ・鉱石運搬船(D・空載)	-0.0322	0.1069	—	—	—	—
底引き網漁船	0.0096	0.1188	—	—	—	—
引き船	0.0967	0.0960	—	0.0205	—	-0.0121

A : 船体中央に機関のあるタイプ、 C : 船体中央に船橋のあるタイプ  
 B : 船体後方に機関のあるタイプ、 D : 船体後方に船橋のあるタイプ

① 旅客船・カーフェリー

$$C_V = 0.941 \cdot \sin \theta + 0.071 \cdot \sin 3\theta - 0.064 \cdot \sin 5\theta \quad (32)$$

近似式 (絶対値大)

$$C_M = 0.0189 \cdot \sin \theta + 0.0970 \cdot \sin 2\theta - 0.0034 \cdot \sin 4\theta \quad (33)$$

$$C_x = -0.020 + 0.641 \cdot \cos \theta + 0.056 \cdot \cos 3\theta - 0.064 \cdot \cos 5\theta \quad (34)$$

$$C_V = 1.059 \cdot \sin \theta + 0.098 \cdot \sin 3\theta - 0.063 \cdot \sin 5\theta \quad (35)$$

$$C_M = 0.0151 \cdot \sin \theta + 0.1298 \cdot \sin 2\theta - 0.0095 \cdot \sin 4\theta \quad (36)$$

近似式 (標準誤差 = 0)

$$C_x = -0.002 + 0.378 \cdot \cos \theta + 0.113 \cdot \cos 3\theta - 0.061 \cdot \cos 5\theta \quad (37)$$

② 一般貨物船 (船体中央にエンジンがあるタイプ) --- 空載状態

近似式 (絶対値大)

$$C_x = 0.008 + 0.957 \cdot \cos \theta - 0.110 \cdot \cos 3\theta - 0.049 \cdot \cos 5\theta \quad (38)$$

$$C_V = 1.012 \cdot \sin \theta + 0.054 \cdot \sin 3\theta - 0.033 \cdot \sin 5\theta - 0.017 \cdot \sin 6\theta \quad (39)$$

$$C_M = 0.0117 \cdot \sin \theta + 0.1157 \cdot \sin 2 \theta - 0.0074 \cdot \sin 4 \theta + 0.0055 \cdot \sin 6 \theta \quad (36)$$

近似式 (標準誤差 = 0)

$$C_X = 0.021 + 0.690 \cdot \cos \theta - 0.037 \cdot \cos 3 \theta - 0.066 \cdot \cos 5 \theta \quad (37)$$

$$C_Y = 0.894 \cdot \sin \theta + 0.010 \cdot \sin 2 \theta + 0.027 \cdot \sin 3 \theta - 0.033 \cdot \sin 5 \theta - 0.013 \cdot \sin 6 \theta \quad (38)$$

$$C_M = 0.0156 \cdot \sin \theta + 0.0827 \cdot \sin 2 \theta \quad (39)$$

③ タンカー・鉱石運搬船 (船体後方に船橋があるタイプ) --- 空載状態

近似式 (絶対値大)

$$C_X = 0.051 + 0.988 \cdot \cos \theta - 0.076 \cdot \cos 3 \theta - 0.073 \cdot \cos 5 \theta \quad (40)$$

$$C_Y = 0.924 \cdot \sin \theta + 0.046 \cdot \sin 3 \theta - 0.026 \cdot \sin 5 \theta \quad (41)$$

$$C_M = -0.0322 \cdot \sin \theta + 0.1069 \cdot \sin 2 \theta \quad (42)$$

近似式 (標準誤差 = 0)

$$C_X = 0.064 + 0.657 \cdot \cos \theta + 0.078 \cdot \cos 3 \theta - 0.037 \cdot \cos 4 \theta - 0.073 \cdot \cos 5 \theta \quad (43)$$

$$C_Y = 0.806 \cdot \sin \theta + 0.019 \cdot \sin 3 \theta - 0.026 \cdot \sin 5 \theta \quad (44)$$

表-14 風抗力係数の計算式  $C_X$  (標準誤差 = 0)

$$C_X = \beta_{01} + \beta_{11} \cdot \cos \theta + \beta_{21} \cdot \cos 2 \theta + \beta_{31} \cdot \cos 3 \theta + \beta_{41} \cdot \cos 4 \theta + \beta_{51} \cdot \cos 5 \theta + \beta_{61} \cdot \cos 6 \theta$$

船種	$\beta_{01}$	$\beta_{11}$	$\beta_{21}$	$\beta_{31}$	$\beta_{41}$	$\beta_{51}$	$\beta_{61}$
旅客船・カーフェリー	-0.002	0.378	—	0.113	—	-0.061	—
一般貨物船(A・満載状態)	0.040	0.806	—	-0.068	—	-0.077	—
一般貨物船(A・空載状態)	0.021	0.690	—	-0.037	—	-0.066	—
一般貨物船(B・満載状態)	0.056	0.771	—	-0.098	—	-0.088	—
一般貨物船(B・空載状態)	0.036	0.701	—	-0.073	—	-0.075	—
タンカー・鉱石運搬船(C・満載)	0.077	0.828	-0.036	-0.056	—	-0.101	0.028
タンカー・鉱石運搬船(C・空載)	0.051	0.710	—	—	—	-0.087	—
タンカー・鉱石運搬船(D・満載)	0.091	0.779	—	—	—	-0.106	—
タンカー・鉱石運搬船(D・空載)	0.064	0.721	—	—	—	-0.091	—
底引き網漁船	0.045	0.657	—	0.078	-0.037	-0.073	—
引き船	-0.020	0.699	-0.018	0.037	-0.035	-0.032	0.024

表-15 風抗力係数の計算式  $C_Y$  (標準誤差 = 0)

$$C_Y = \beta_{12} \cdot \sin \theta + \beta_{22} \cdot \sin 2 \theta + \beta_{32} \cdot \sin 3 \theta + \beta_{42} \cdot \sin 4 \theta + \beta_{52} \cdot \sin 5 \theta + \beta_{62} \cdot \sin 6 \theta$$

船種	$\beta_{12}$	$\beta_{22}$	$\beta_{32}$	$\beta_{42}$	$\beta_{52}$	$\beta_{62}$
旅客船、カーフェリー	0.941	—	0.071	—	-0.064	—
一般貨物船(A・満載状態)	0.834	—	0.017	—	-0.037	—
一般貨物船(A・空載状態)	0.894	0.010	0.027	—	-0.033	-0.013
一般貨物船(B・満載状態)	0.810	—	0.023	—	-0.025	—
一般貨物船(B・空載状態)	0.871	—	0.029	—	-0.024	-0.013
タンカー・鉱石運搬船(C・満載)	0.700	—	0.006	—	-0.027	0.014
タンカー・鉱石運搬船(C・空載)	0.781	0.019	0.015	—	-0.028	—
タンカー・鉱石運搬船(D・満載)	0.775	-0.019	0.021	—	-0.028	0.005
タンカー・鉱石運搬船(D・空載)	0.806	—	0.019	—	-0.026	—
底引き網漁船	0.894	—	0.042	—	-0.043	—
引き船	0.900	0.057	0.049	-0.018	-0.022	—

表-16 風抗力係数の計算式  $C_M$  (標準誤差=0)

$$C_M = \beta_{1s} \cdot \sin \theta + \beta_{2s} \cdot \sin 2\theta + \beta_{3s} \cdot \sin 3\theta + \beta_{4s} \cdot \sin 4\theta + \beta_{5s} \cdot \sin 5\theta + \beta_{6s} \cdot \sin 6\theta$$

船種	$\beta_{1s}$	$\beta_{2s}$	$\beta_{3s}$	$\beta_{4s}$	$\beta_{5s}$	$\beta_{6s}$
旅客船、カーフェリー	0.0189	0.0970	—	-0.0034	—	—
一般貨物船(A・満載状態)	0.0107	0.0689	—	—	—	—
一般貨物船(A・空載状態)	0.0156	0.0827	—	—	—	—
一般貨物船(B・満載状態)	-0.0226	0.0733	-0.0059	0.0039	—	0.0040
一般貨物船(B・空載状態)	—	0.0835	—	—	—	—
クマ・鉱石運搬船(C・満載)	-0.0258	0.0548	-0.0066	0.0063	0.0049	0.0037
クマ・鉱石運搬船(C・空載)	-0.0080	0.0698	-0.0032	0.0033	0.0020	0.0019
クマ・鉱石運搬船(D・満載)	-0.0435	0.0729	-0.0133	0.0065	0.0037	0.0042
クマ・鉱石運搬船(D・空載)	-0.0203	0.0764	-0.0076	0.0040	0.0019	0.0025
底引き網漁船	0.0158	0.0869	—	0.0034	—	-0.0018
引き船	0.0778	0.0770	0.0158	0.0085	-0.0041	-0.0042

A : 船体中央に機関のあるタイプ、 C : 船体中央に船橋のあるタイプ  
 B : 船体後方に機関のあるタイプ、 D : 船体後方に船橋のあるタイプ

$$C_M = -0.0203 \cdot \sin \theta + 0.0764 \cdot \sin 2\theta - 0.0076 \cdot \sin 3\theta + 0.0040 \cdot \sin 4\theta + 0.0019 \cdot \sin 5\theta + 0.0025 \cdot \sin 6\theta \quad (45)$$

近似式 (標準誤差=0)

$$C_w = 1.040 + 0.0005 \cdot \cos 2\theta - 0.344 \cdot \cos 4\theta - 0.181 \cdot \cos 6\theta \quad (49)$$

以上のように、イシャーウッドの提案に基づいて、 $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_M$  について近似式を示した。ここで、技術基準にならって、風抗力係数  $C_w$  を求め重回帰分析による検討を行う。イシャーウッドの提案による  $C_x$ 、 $C_y$  を用いて、 $C_w$  は式(46)によって計算される。

$$C_w = \frac{\sqrt{(C_x A_T)^2 + (C_y A_L)^2}}{A_T \cos^2 \theta + A_L \sin^2 \theta} \quad (46)$$

ここで、 $2A_L/L_{0\alpha} = \alpha$ 、 $2A_T/B^2 = \beta$ 、 $L_{0\alpha}/B = \gamma$  として、式(47)を得る。

$$C_w = \frac{\sqrt{(C_x \beta)^2 + (C_y \alpha \gamma^2)^2}}{\beta \cos^2 \theta + \alpha \gamma^2 \sin^2 \theta} \quad (47)$$

イシャーウッドによれば、表-6に示したように、旅客船・カーフェリーについては  $\alpha=0.192$ 、 $\beta=1.950$ 、 $\gamma=7.660$  である。旅客船・カーフェリーについて、式(47)を用いて風向 $10^\circ$ ごとに  $C_w$  を求め、 $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_M$  などと同様の手順で  $C_w$  の近似式を求め、式(46)および式(49)を得る。

近似式 (絶対値大)

$$C_w = 1.187 + 0.024 \cdot \cos 2\theta - 0.400 \cdot \cos 4\theta - 0.230 \cdot \cos 6\theta \quad (48)$$

図-21は旅客船・カーフェリーについて式(46)より風向ごとに求めた  $C_w$  と、式(46)および(49)の近似式による  $C_w$  を比較したものである。近似式と原データ(イシャーウッドの提案による計算値)はあまりよい一致を示していない。ちなみに、残差平方和を示すと、近似式(絶対値大)および近似式(標準誤差=0)について、それぞれ、0.276、0.075、であり、表-9に示した数値よりも大きく、近似精度が良くないことを示している。また、技術基準の式にならって、 $C_w$  で近似式を与え、これから再度  $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_M$  を求めるようにした場合には、3.3 a)で示したように、風荷重合力の作用する方向  $\phi$  の計算値がパラメータ  $q$  によってかなり影響を受けるので、イシャーウッドの提案によって求めた  $C_x$  の値と相違する。したがって、本資料においては、風抗力係数の近似式を  $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_M$  のそれぞれについて与えるものとする。

#### 4.3 係留船舶の動揺計算結果の比較

##### (1) 概説

前節において求めた近似式(絶対値大)と近似式(標準誤差=0)について一点係留船舶の振れ回り計算および係岸船舶の動揺計算を行い、技術基準の式および船研の実験値等による動揺計算結果と併せて比較・検討する。

##### (2) 一点係留船舶(フェリー)の振れ回り計算による検討

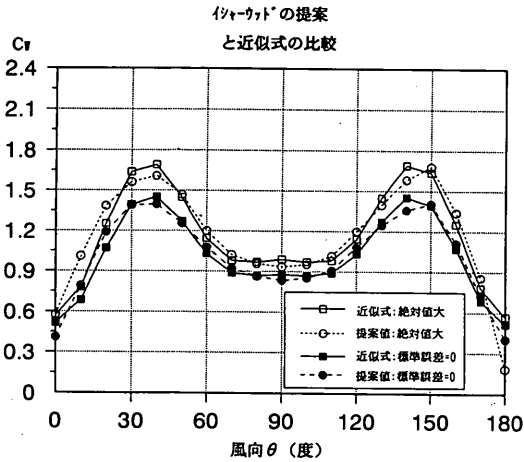


図-21 イシャーウッドの提案と近似式による風圧力係数  $C_w$  の比較 (旅客船・カーフェリー)

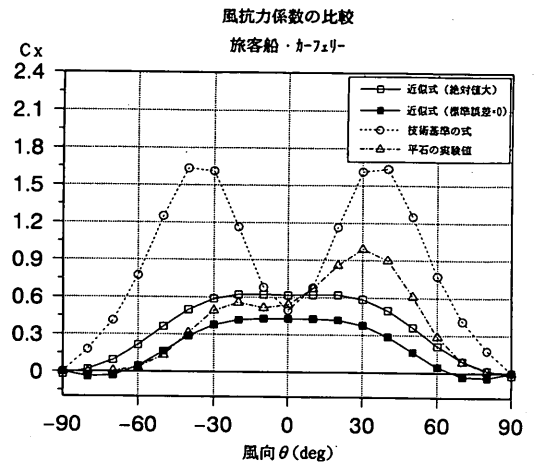


図-22 近似式の違いによる風抗力係数  $C_x$  の比較 (旅客船・カーフェリー)

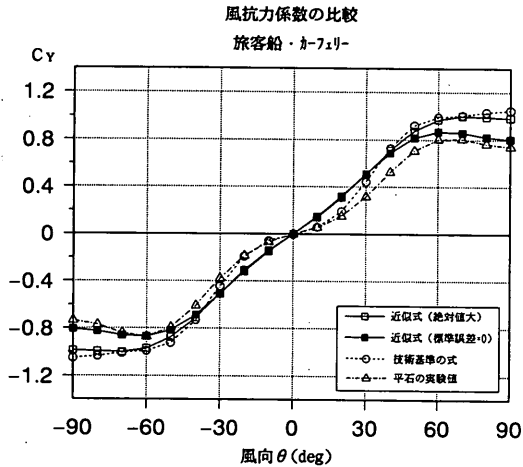


図-23 近似式の違いによる風抗力係数  $C_y$  の比較 (旅客船・カーフェリー)

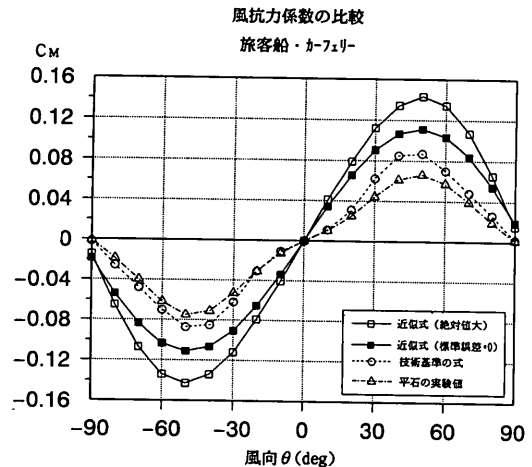


図-24 近似式の違いによる風抗力係数  $C_m$  の比較 (旅客船・カーフェリー)

a) 概要

ここでは、フェリーについて表-17に示す条件で一点係留船舶の振れ回り計算を行い、上述の両近似式による動揺量および係留力の差異を比較・検討する。

また、この他、技術標準の式および平石の実験値と近似式との比較を行う。平石の近似式は、異なる2船の風抗力係数の実験結果を整理して得たものである。

b) 係数値の比較

平石ら<sup>9)</sup>は、2船のフェリーの模型の風圧力を計測し、これに基づいて以下の式を提案している。本資料では、以下、この式による風抗力係数を平石の実験値と記述する。

$$C_w = 0.881 - 0.070 \cdot \cos 2\theta - 0.215 \cdot \cos 4\theta - 0.005 \cdot \cos 6\theta \quad (\theta \geq 10^\circ) \quad (50)$$

$$C_w = 0.5425 + 0.0105 \cdot \theta \quad (0^\circ < \theta \leq 10^\circ) \quad (51)$$

$$C_w = 0.5425 - 0.00404 \cdot \theta \quad (-10^\circ \leq \theta < 0^\circ) \quad (52)$$

$$C_w = 0.920 - 0.099 \cdot \cos 2\theta - 0.306 \cdot \cos 4\theta - 0.021 \cdot \cos 6\theta \quad (\theta \leq 10^\circ) \quad (53)$$

風荷重合力の作用する方向  $\phi$  は、 $\theta \geq 0^\circ$  では式(52)において  $q=3$ 、 $\theta < 0^\circ$  では式(53)において  $q=5$  である。式(50)~(53)の  $C_w$  は  $\theta \geq 0^\circ$  と  $\theta < 0^\circ$  において、非対称である。これは乗降設備等による両舷側の形状が非対称であることによる影響であると考えられている。

図-22~図-24は、旅客船・カーフェリーについて近似式、技術標準の式および平石の実験値による風抗力係数  $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_m$  を比較して示したものである。係数値

表-17 風抗力係数の相違による一点係留船舶の振れ回り計算条件

船種	フェリー
船型	20, 617 D.W.T.
載荷状態	満載状態
水深	42.0 m
平均風速	30 m / s
風向	0°

は $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の範囲で示している。技術基準の式について、 $\phi$ は式(1)で与える。

$C_x$ については、技術基準の式による値が他のものに比べて極めて大きな値を示している。また、平石の実験値の $C_x$ は他のものと比較すると非対称であり、 $-90^\circ < \theta < 0^\circ$ では近似式（絶対値大）の計算値よりも小さく、また、 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ では近似式（絶対値大）の計算値よりも大きい。

次に、 $C_r$ については、近似式（絶対値大）による計算値は、技術基準の式による計算値とほぼ等しいが、平石の実験値によるものはこれらよりも小さい。平石の実験値は $-90^\circ < \theta < -60^\circ$ 、 $60^\circ < \theta < 90^\circ$ においては、近似式（標準誤差=0）による計算値とほぼ等しい。

また、 $C_M$ については、平石の実験値によるものが最も小さく、技術基準の式による計算値はこれよりもやや大きい。近似式（標準誤差=0）による計算値は、平石の実験値の約1.5倍である。また、近似式（絶対値大）による計算値は平石の実験値の約2倍である。ここでは、イシャーウッドの提案について、標準誤差として $-1.96SE$ とするものについて示してはいるが、近似式（絶対値大）による計算値および近似式（標準誤差=0）による計算値の差異からみると、平石の実験値および技術基準の式は、イシャーウッドの提案において標準誤差を $-1.96SE$ とする値にほぼ対応すると考えられる。

図-25～図-26は、旅客船・カーフェリーについて、それぞれ、風荷重合力の作用する方向 $\phi$ 、船首から風荷重合力が作用する点までの距離と垂線間長の比 $a/l$ について示したものである。

風荷重合力の作用する方向 $\phi$ については、図-25に示

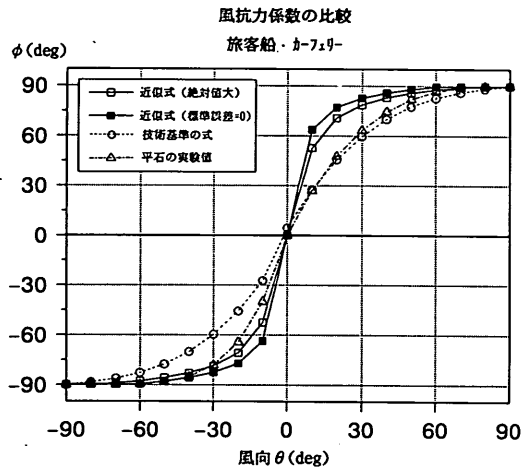


図-25 近似式の違いによる風荷重合力の作用する方向 $\phi$ の比較（旅客船・カーフェリー）

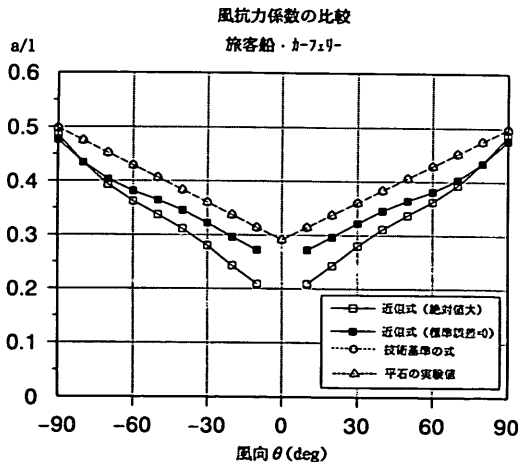


図-26 近似式の違いによる風荷重合力の作用点位置 $a/l$ の比較（旅客船・カーフェリー）

すように、 $-90^\circ < \theta < 0^\circ$ では平石の実験値と近似式（絶対値大）の計算値がほぼ等しいが、 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ では平石の実験値と技術基準の式による計算値がほぼ等しい。先に図-9で一般貨物船に対する $\phi$ の値を計算式相互に比較したが、 $-10^\circ < \theta < 10^\circ$ において技術基準の式で $q=5$ とした計算値とイシャーウッドの提案に基づく計算値とがよく一致した。図-35では、 $\phi$ は式(11)で与えているので図-9の岩井の式によるものとほぼ等しい。したがって、イシャーウッドの提案による計算値とは一致しない。また、平石の実験値においても、 $\theta > 0$ については $q=3$ としているので、同じくイシャーウッドの提案による計算値とは一致しない。

船首から風荷重合力が作用する点までの距離と垂線間長の比 $a/l$ については、図-26に示すように技術基準の式と平石の実験値とは同一の式を用いているので、図では同一の点で示している。また、近似式（標準誤差=0）による計算値は、技術基準の式による計算値および平石の実験値よりもやや小さい。また、近似式（絶対値大）による $a/l$ の値はこれらよりさらに小さくなる。これはイシャーウッドの提案によるモーメントが、技術基準の式による計算値または平石の実験値に比べて大きいためである。

以上、とりまとめると平石の実験値および技術基準の式による計算値は、図示はしていないが、イシャーウッドの提案による計算値において標準誤差を $-1.96SE$ とする場合にほぼ対応するものと考えられる。したがって、平石の実験値および技術基準の式の基になった船舶は、平均的な船舶に比べると、風抗力係数が小さいものであったと考えられる。

### c) 動揺および張力の比較

表-18は、一点係留船舶の振れ回り計算の結果を示したものである。表において、 $X_A$ 、 $Y_A$ は船首の $X$ 方向（前後方向）および $Y$ 方向（左右方向）の変位、 $\phi_M$ は船舶の振れ回り角度、 $T$ は係留索の張力である。ここにMAXおよびMINは計算結果の最大値および最小値である。

近似式（絶対値大）と近似式（標準誤差=0）による振れ回り計算結果と比較すると、 $X_A$ のMAXおよびMINの絶対値は近似式（標準誤差=0）による振れ回り計算の方が小さい。これは、この条件のときの方が風圧力が小

さいので、船体が風下側に押しやられる量が全体に小さくなっているためである。しかし、MAXとMINの差は逆に近似式（標準誤差=0）による振れ回り計算結果の方が大きい。これに対し、 $Y_A$ 、 $\phi_M$ については両者の近似式による振れ回り計算結果の差異は小さい。一方、張力 $T$ については両者の近似式による振れ回り計算結果の差異はかなり大きい。すなわち、最大張力は近似式（絶対値大）を用いた場合には213.6tfであるのに対して、近似式（標準誤差=0）を用いた場合には176.6tfである。前者は後者の約1.2倍である。このとき、船舶は、いずれの場合にも $\pm 40^\circ$ の範囲で振れ回り運動を行っていることから、この範囲の $C_X$ および $C_M$ について近似式（絶対値大）と近似式（標準誤差=0）による計算値の比を求めると1.4倍および1.2倍である。最大張力の比は $C_M$ の比とほぼ同等であることがわかる。

次に、これらの計算値と平石の実験値による計算結果を比較する。平石の実験値による計算値は、 $X_A$ 、 $Y_A$ 、 $\phi_M$ のいずれについても近似式（絶対値大）による計算値よりやや小さい。近似式（標準誤差=0）による計算値の $X_A$ は、平石の実験値による計算値よりやや小さいものの、 $Y_A$ はかなり大きく、 $\phi_M$ はやや大きい。また、張力 $T$ については、平石の実験値による計算値は112.6tfであり、近似式（絶対値大）および近似式（標準誤差=0）による計算値に対して、それぞれ、0.53倍および0.64倍である。係岸船舶が $\pm 30^\circ$ の範囲で振れ回り運動をしていることから、この範囲における $C_M$ について、平石の実験値と近似式（絶対値大）および近似式（標準誤差=0）による計算値との比をとると約0.3倍~0.4倍および約0.4倍~0.5倍である。したがって、最大張力の比は、 $C_M$ の比と同等であることがわかる。

次に、技術基準の式による計算値と近似式（絶対値大）

表-18 風抗力係数の相違による一点係留船舶の振れ回り計算結果

計算条件	$X_A$ (m)		$Y_A$ (m)		$\phi_M$ (deg)		T (tf)
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	
近似式（絶対値大）	-108.3	-151.3	93.3	-93.3	41.1	-41.1	213.6
近似式（標準誤差=0）	-95.1	-149.0	102.5	-88.7	40.3	-43.5	176.6
平石の実験値	-105.4	-144.1	85.3	-49.4	32.3	-39.6	112.6
技術基準の式	-129.8	-149.2	44.2	-24.2	23.2	-26.0	153.2

による計算値を比較すると、前者は後者に比べ  $X_A$  はほぼ等しいが、 $Y_A$ 、 $\phi_M$  はかなり小さく、これに伴って張力が0.72倍となる。これは、技術基準の式による  $X$  方向の風抗力が相当大きいため、振れ回り角度が  $\pm 25^\circ$  になって近似式（絶対値大）の角度より小さく、全体として振れ回り運動が小さくなっているためであると考えられる。また、近似式（標準誤差=0）の計算値と比較すると、 $X_A$  のうち MIN、すなわち風下側の移動量の最大値についてはおおむね等しいが、 $Y_A$ 、 $\phi_M$  は前者が後者よりかなり小さい。張力については、技術基準の式による計算値は153.2tfであり、近似式（標準誤差=0）による計算値の0.87倍である。この理由は先と同様である。

近似式（絶対値大）による張力計算は、近似式（標準誤差=0）による張力の計算値の約1.2倍であるから、風抗力係数が過大とみることもできる。しかし、図-16(3)および図-18(3)に示したタンカーについて、船研の実験値のように、 $C_M$  が近似式（絶対値大）の計算値より大きくなることもあるので、ここでは、安全側を考慮して近似式（絶対値大）を採用するのが良いと考えられる。

### (3) 係岸船舶の動揺計算による検討

#### a) 一般貨物船

一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ）について係岸船舶の動揺計算を行い、近似式（絶対値大）および近似式（標準誤差=0）による  $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_M$  の相違が動揺量および係留力に及ぼす影響について検討した。計算条件を表-19に示す。風向は、防舷材を圧縮する方向として、 $30^\circ \sim 150^\circ$  の範囲で  $15^\circ$  おきに与えた。また、風の影響が相対的に大きくなるように波向は  $30^\circ$ 、有義波高0.5m、有義波周期8sとした。図-27~図-30は、それぞれ、サージ、スウェイ、ロール、ヨウの各成分の動揺量を、また、図-31および図-32は、それぞれ、防舷材の変位および歪を示したものである。ヒープおよびピッチには風荷重の影響が小さいので省略する。

まず、動揺量について比較してみる。サージは風向  $45^\circ$  で両者の差異が最も大きい。しかし、近似式（絶対値大）の有義両振幅は0.309m、近似式（標準誤差=0）による有義両振幅は0.271mであり、前者は後者の1.14倍程度である。このとき風抗力係数は、それぞれ、0.791、0.582であり、その比が1.37倍であることを考

表-19 標準誤差の違いによる係留船舶の動揺量の比較の計算条件

船種	一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ）
船型	10,000D.W.T.
載荷状態	空載状態
水深	10m
有義波高	0.5m
波向	$30^\circ$
有義波周期	8s
平均風速	10m/s
風向	$30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ$

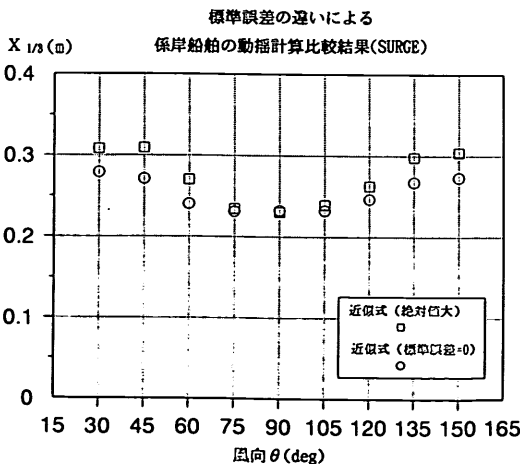


図-27 標準誤差の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (SURGE)

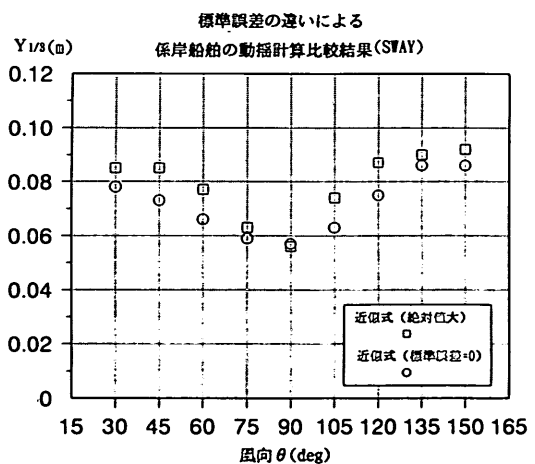


図-28 標準誤差の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (SWAY)



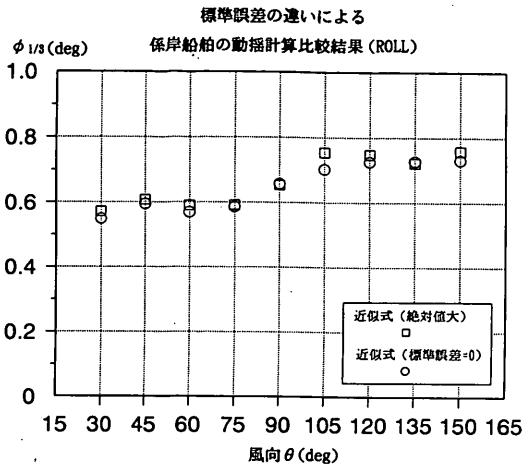


図-29 標準誤差の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (ROLL)

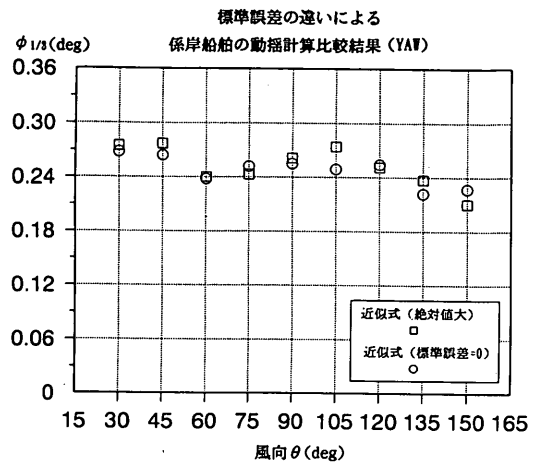


図-30 標準誤差の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (YAW)

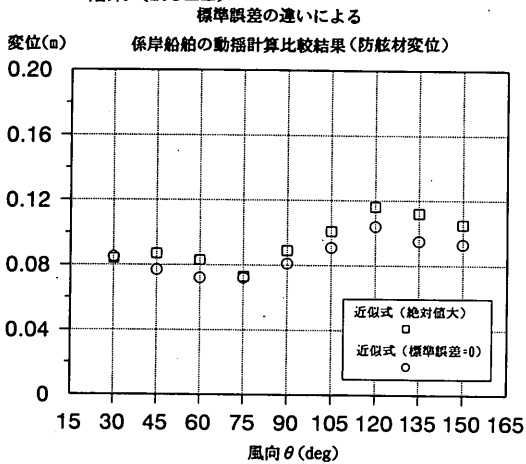


図-31 標準誤差の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (防舷材変位)

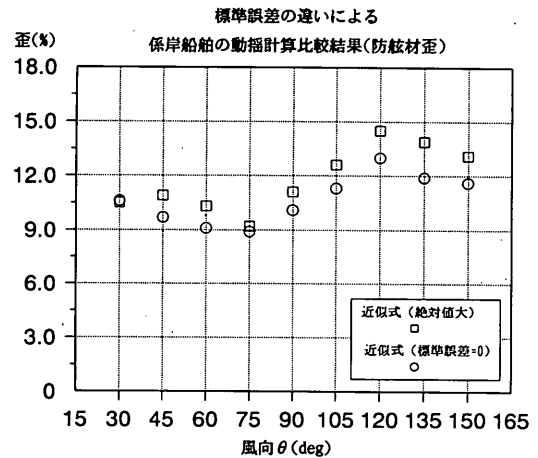


図-32 標準誤差の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (防舷材歪)

ると、風抗力係数の差異ほど動揺量のそれは大きくない。スウェイは近似式(絶対値大)とする計算値の方が近似式(標準誤差=0)とするものよりも大きい。両者の差異は風向45°, 60°, 105°, 120°で大きい、最も差異が大きい風向105°で比較すると、近似式(絶対値大)および近似式(標準誤差=0)による有義両振幅は、0.074m および0.063m であり、やはり前者は後者の1.17倍程度である。このときの風抗力係数は、それぞれ、0.948, 0.836であり、その比は1.13倍である。スウェイについては、風抗力係数の比と動揺量の比はおおむね等しい。また、ロールおよびヨウについては近似式(絶対値大)および近似式(絶対値=0)による動揺両振幅の相違はサージおよびスウェイに比べるとかなり小さい。

次に、防舷材変位については、風向105°~150°、すなわち、船尾方向から風が作用しているケースについて両者の差異が大きい、両者の差異が最も大きい風

135°では、近似式(絶対値大)および近似式(標準誤差=0)による防舷材の最大変位は、それぞれ、0.112m および0.095m であり、その比は、1.18倍である。防舷材の最大変位には、 $C_Y$ の影響が大きいものと考えられる。

#### b) タンカー

船橋が後方にある10,000 D. W. T. タンカーの空載状態について、係岸船舶の動揺計算を行い、近似式(絶対値大)、近似式(標準誤差=0)、技術基準の式および船研の実験値による $C_X$ ,  $C_Y$ ,  $C_M$ の相違が、動揺量および保留力に及ぼす影響について検討した。計算条件を表-20に示す。平均風速10m/s、風向30°~150°の範囲で15°おきに与えた。また、波向30°、有義波高0.5m、有義波周期8sの条件で行った。図-33~図-36は、それぞれ、サージ、スウェイ、ロール、ヨウの各成分の動揺量を、また、図-37~図-38は、それぞれ、防舷材の変位および歪みを示したものである。図には本資料で提案

表-20 風抗力係数の算定方法の違いによる係留船舶の動揺量の比較の計算条件

船種	タンカー（船橋が後方にあるタイプ）
船型	10,000D.W.T.
載荷状態	空載状態
水深	9m
有義波高	0.5m
波向	30°
有義波周期	8s
平均風速	10m / s
風向	30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°

する近似式（絶対値大）、近似式（標準誤差=0）、技術基準の式および船研の実験値による動揺両振幅について、それぞれ、□, ■, ○, △で示している。

まず、動揺量について比較してみる。船体の真横から風が吹く場合（風向90°付近）にはそれぞれの風抗力係数の数値によらず、動揺両振幅の計算値はほぼ等しいが、斜め前方および斜め後方の方向から風が吹く場合（風向30°~60°および120°~150°付近）では技術基準の式による動揺量は他の3つに比べてやや小さい。この傾向は、特に、サージに顕著である。これは、図-10に示したように技術基準の式では、φの計算においてq=5とするので、Cxの値が他のものよりも小さいためである。ちなみに、近似式（絶対値大）と技術基準の式による計算値の比は、1.56である。

次に、スウェイについては、風向90°~150°の範囲において、技術基準の式による動揺両振幅が他のものに比べてやや大きい。風向135°における技術基準の式における動揺両振幅は0.086mであるが、これは、近似式（絶対値大）、近似式（標準誤差=0）、船研の実験値による計算値の1.10~1.13倍である。しかしながら、動揺量そのものが小さいので、とくに問題は生じないと考える。

ロールおよびヨウについては、一般貨物船の場合と同様に風抗力係数の相違による動揺量の差異は小さい。

次に、防舷材の変位については、風向105°~150°において相違が大きい。各計算値の差異が大きな風向135°では、近似式（絶対値大）、近似式（標準誤差=0）、技術基準の式、船研の実験値による計算値は、0.150m, 0.138m, 0.131m, 0.125mであり、近似式（絶対値大）と技術基準の式および船研の実験値による計算値の比は、それぞれ、1.15, 1.20である。

以上のことから、他のものよりもやや計算値が大きい。近似式（絶対値大）を用いて動揺量を求めて問題がないものとする。

#### 4.4 近似式の提案

4.3に示したように、近似式（絶対値大）による計算値が動揺量および防舷材の変位のいずれについても大きい。その差異が、近似式（標準誤差=0）の計算値に対して最大約18%程度、また、その他の条件では5~15%程度であることから、近似式（絶対値大）を本資料の提案式とする。

表-11~表-13で示したイシャーウッドの風抗力係数算定法に基づ

く風抗力係数の近似式（風向θをパラメータとする近似式）を以下の式(54)~(64)に示す。

##### ① 旅客船・カーフェリー

$$C_x = -0.020 + 0.641 \cdot \cos \theta + 0.056 \cdot \cos 3 \theta - 0.064 \cdot \cos 5 \theta \quad (54)$$

$$C_y = 1.059 \cdot \sin \theta + 0.098 \cdot \sin 3 \theta - 0.063 \cdot \sin 5 \theta \quad (55)$$

$$C_M = 0.0151 \cdot \sin \theta + 0.1298 \cdot \sin 2 \theta - 0.0095 \cdot \sin 4 \theta \quad (56)$$

##### ② 一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ） -- 満載状態

$$C_x = 0.026 + 1.072 \cdot \cos \theta - 0.141 \cdot \cos 3 \theta - 0.059 \cdot \cos 5 \theta \quad (57)$$

$$C_y = 0.953 \cdot \sin \theta + 0.045 \cdot \sin 3 \theta - 0.036 \cdot \sin 5 \theta \quad (58)$$

$$C_M = 0.0068 \cdot \sin \theta + 0.1017 \cdot \sin 2 \theta - 0.0056 \cdot \sin 4 \theta + 0.0058 \cdot \sin 6 \theta \quad (59)$$

##### ③ 一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ） -- 空載状態

$$C_x = 0.008 + 0.957 \cdot \cos \theta - 0.110 \cdot \cos 3 \theta - 0.049 \cdot \cos 5 \theta \quad (60)$$

$$C_y = 1.012 \cdot \sin \theta + 0.054 \cdot \sin 3 \theta - 0.033 \cdot \sin 5 \theta - 0.017 \cdot \sin 6 \theta \quad (61)$$

$$C_M = 0.0117 \cdot \sin \theta + 0.1157 \cdot \sin 2 \theta - 0.0074 \cdot \sin 4 \theta + 0.0055 \cdot \sin 6 \theta \quad (62)$$

##### ④ 一般貨物船（船体後方にエンジンがあるタイプ） -- 満載状態

$$C_x = 0.043 + 1.038 \cdot \cos \theta - 0.171 \cdot \cos 3 \theta - 0.070 \cdot \cos 5 \theta \quad (63)$$

$$C_y = 0.927 \cdot \sin \theta + 0.051 \cdot \sin 3 \theta - 0.025 \cdot \sin 5 \theta \quad (64)$$

$$C_M = -0.0264 \cdot \sin \theta + 0.1063 \cdot \sin 2 \theta - 0.0069 \cdot \sin 3 \theta + 0.0084 \cdot \sin 6 \theta \quad (65)$$

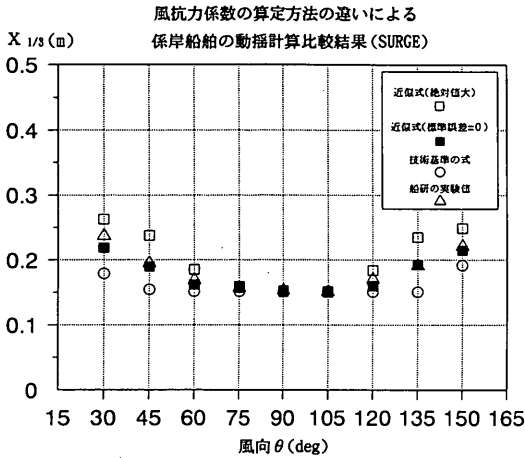


図-33 風抗力係数の算定方法の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (SURGE)

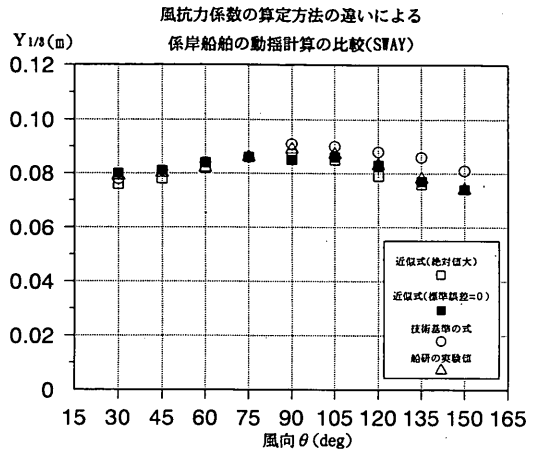


図-34 風抗力係数の算定方法の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (SWAY)

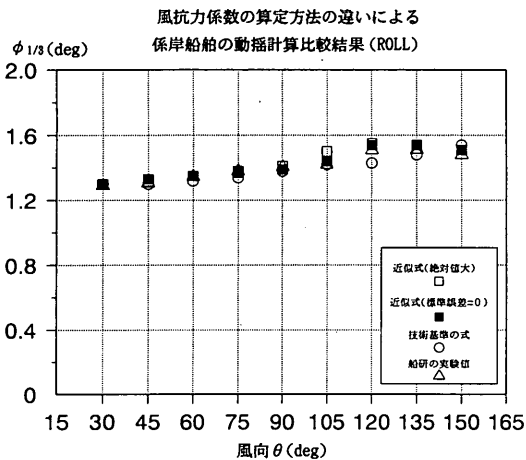


図-35 風抗力係数の算定方法の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (ROLL)

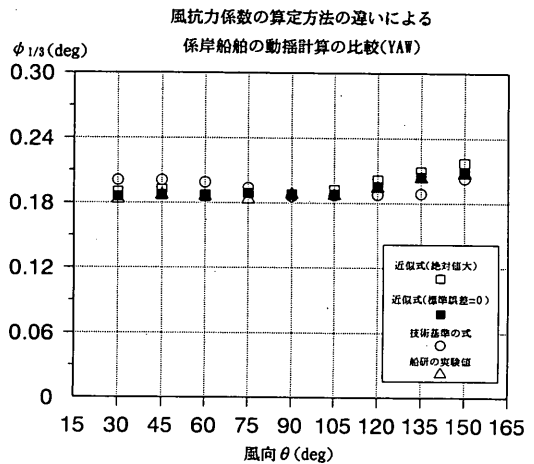


図-36 風抗力係数の算定方法の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (YAW)

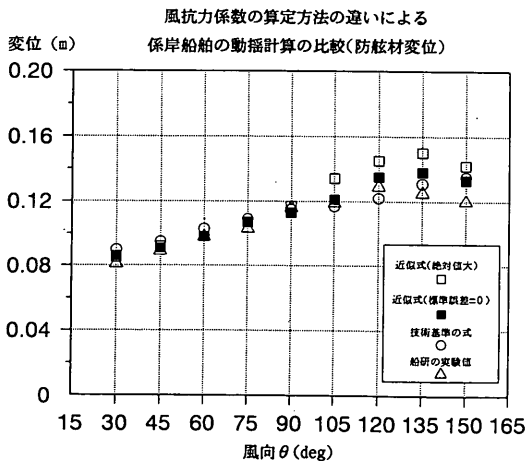


図-37 風抗力係数の算定方法の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (防舷材変位)

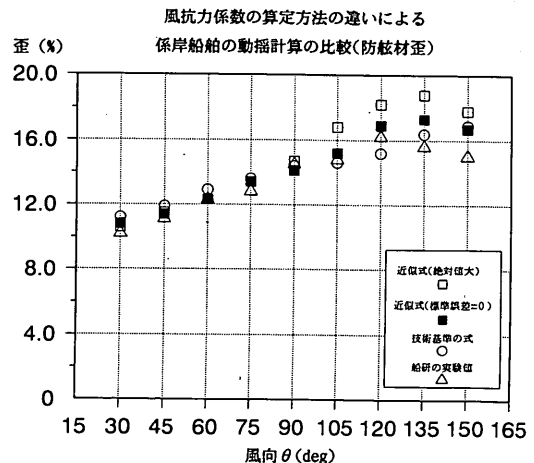


図-38 風抗力係数の算定方法の違いによる係岸船舶の動揺計算比較結果 (防舷材歪)

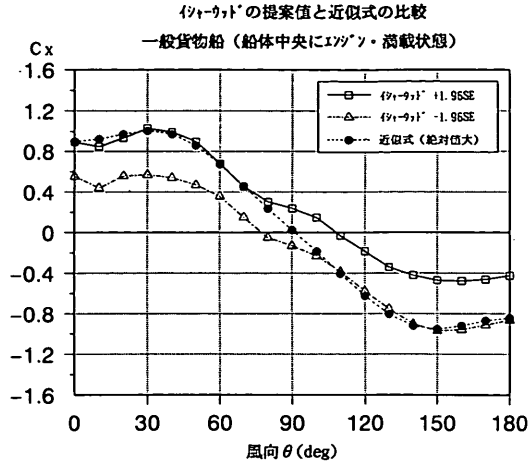


図-39(1) 風向  $\theta \sim C_x$

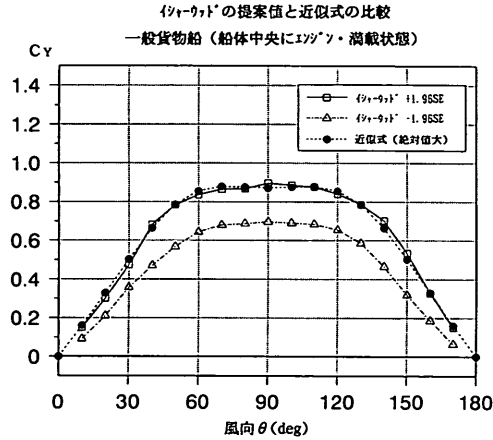


図-39(2) 風向  $\theta \sim C_y$

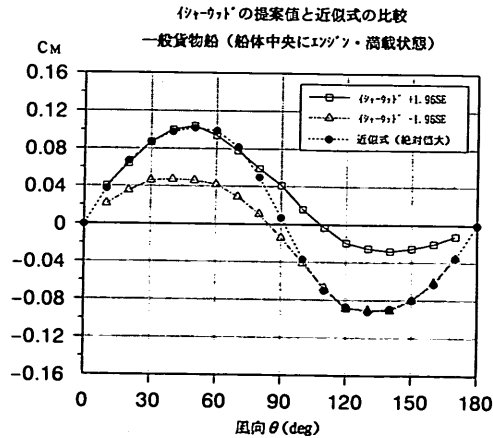


図-39(3) 風向  $\theta \sim C_m$

図-39 イシャウッドの提案と近似式の比較（絶対値大）  
一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ、満載状態）

⑤ 一般貨物船（船体後方にエンジンがあるタイプ）――空載状態

$$C_x = 0.022 + 0.968 \cdot \cos \theta - 0.145 \cdot \cos 3 \theta - 0.057 \cdot \cos 5 \theta \quad (66)$$

$$C_y = 0.989 \cdot \sin \theta + 0.055 \cdot \sin 3 \theta - 0.024 \cdot \sin 5 \theta - 0.018 \cdot \sin 6 \theta \quad (67)$$

$$C_M = 0.1167 \cdot \sin 2 \theta \quad (68)$$

⑥ タンカー・鉱石運搬船（船体中央に船橋があるタイプ）――満載状態

$$C_x = 0.065 + 1.094 \cdot \cos \theta - 0.043 \cdot \cos 2 \theta - 0.129 \cdot \cos 3 \theta - 0.084 \cdot \cos 5 \theta + 0.026 \cdot \cos 6 \theta \quad (69)$$

$$C_y = 0.818 \cdot \sin \theta + 0.033 \cdot \sin 3 \theta - 0.026 \cdot \sin 5 \theta \quad (70)$$

$$C_M = -0.0388 \cdot \sin \theta + 0.0849 \cdot \sin 2 \theta + 0.0053 \cdot \sin 4 \theta \quad (71)$$

⑦ タンカー・鉱石運搬船（船体中央に船橋があるタイプ）――空載状態

$$C_x = 0.038 + 0.978 \cdot \cos \theta - 0.085 \cdot \cos 3 \theta - 0.068 \cdot \cos 5 \theta \quad (72)$$

$$C_y = 0.899 \cdot \sin \theta + 0.042 \cdot \sin 3 \theta - 0.027 \cdot \sin 5 \theta \quad (73)$$

$$C_M = -0.0173 \cdot \sin \theta + 0.1021 \cdot \sin 2 \theta \quad (74)$$

⑧ タンカー・鉱石運搬船（船体後方に船橋があるタイプ）――満載状態

$$C_x = 0.079 + 1.047 \cdot \cos \theta - 0.087 \cdot \cos 3 \theta - 0.087 \cdot \cos 5 \theta \quad (75)$$

$$C_y = 0.893 \cdot \sin \theta - 0.026 \cdot \sin 2 \theta + 0.048 \cdot \sin 3 \theta - 0.028 \cdot \sin 5 \theta \quad (76)$$

$$C_M = -0.0577 \cdot \sin \theta + 0.1019 \cdot \sin 2 \theta - 0.0052 \cdot \sin 3 \theta + 0.0069 \cdot \sin 4 \theta \quad (77)$$

⑨ タンカー・鉱石運搬船（船体後方に船橋があるタイプ）――空載状態

$$C_x = 0.051 + 0.988 \cdot \cos \theta - 0.076 \cdot \cos 3 \theta - 0.073 \cdot \cos 5 \theta \quad (78)$$

$$C_y = 0.924 \cdot \sin \theta + 0.046 \cdot \sin 3 \theta - 0.026 \cdot \sin 5 \theta \quad (79)$$

$$C_M = -0.0322 \cdot \sin \theta + 0.1069 \cdot \sin 2 \theta \quad (80)$$

⑩ 底引き網漁船

$$C_x = 0.026 + 0.922 \cdot \cos \theta - 0.053 \cdot \cos 4 \theta - 0.068 \cdot \cos 5 \theta \quad (81)$$

$$C_y = 1.012 \cdot \sin \theta + 0.069 \cdot \sin 3 \theta - 0.020 \cdot \sin 4 \theta - 0.042 \cdot \sin 5 \theta \quad (82)$$

$$C_M = 0.0096 \cdot \sin \theta + 0.1188 \cdot \sin 2 \theta \quad (83)$$

⑪ 引き船

$$C_x = -0.019 + 0.963 \cdot \cos \theta - 0.045 \cdot \cos 2 \theta - 0.024 \cdot \cos 3 \theta - 0.018 \cdot \cos 4 \theta - 0.030 \cdot \cos 5 \theta \quad (84)$$

$$C_y = 1.019 \cdot \sin \theta + 0.049 \cdot \sin 2 \theta + 0.076 \cdot \sin 3 \theta - 0.026 \cdot \sin 4 \theta - 0.021 \cdot \sin 5 \theta \quad (85)$$

$$C_M = 0.0967 \cdot \sin \theta + 0.0960 \cdot \sin 2 \theta + 0.0205 \cdot \sin 4 \theta - 0.0121 \cdot \sin 6 \theta \quad (86)$$

図-39は、一例として、一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ、満載状態）について表-11～表-13に示した風向 $\theta$ をパラメーターとする近似式（絶対値大）とイシャーウッドの提案により求めた風抗力係数を比較して示したものである。両者はよく一致している。その他の船種については付録に示した。

## 5. 結論

本資料では、イシャーウッドが提案した風抗力係数と技術基準に示された式および船研の実験による風抗力係数の比較・検討を行った。技術基準の式および船研の実験値は、特定の船舶の実験結果に基づいているので、必ずしも標準的とはいえない。イシャーウッドは数多くの風洞実験結果を収集し、11の船種および載荷状態ごとに統計解析を行い、その結果に基づいて風抗力係数を計算する手法を提案したので、標準船型を対象とする場合においてはこれを用いるものが、より適当であると考えられる。そこで、イシャーウッドの提案に基づいて、風向 $\theta$ をパラメーターとする新しい風抗力係数の計算式を提案した。その検討においては、技術基準の式および船研の実験値と比較して、標準誤差の取扱いについて見解を示し、さらに、提案する風抗力係数を用いて係留船舶の動揺計算を行い、他の風抗力係数の計算式を用いて求めた動揺量および係留力の計算結果と比較した。

本資料における主要な結論は以下のとおりである。

1) 風抗力係数を計算する際に必要な船体諸元について、イシャーウッドが提示している必要なパラメータの平均値は、技術基準に示されている回帰式により算定される数値に比べて、一部を除いて大きな相違がないといえる。ただし、相違があるパラメータについても、風抗力係数にはあまり大きな影響は与えないことがわかった。したがって、イシャーウッドの提案に基づいて風抗力係数を計算する際に、計算に必要な船体諸元の全てが得られない場合には、イシャーウッドが提示している船体諸元に関するパラメータの値を用いて風抗力係数を推定しても、実用上、問題がないものと思われる。

2) 標準誤差の取扱いの検討においては、標準誤差を+

1.96SE または  $-1.96SE$  として計算した値の絶対値の大きいものをとる場合（絶対値大）と標準誤差を考慮しない場合（標準誤差 = 0）の二通りを考え、風抗力係数の近似式を求めた。これらの近似式と従来の風抗力係数の計算式による値を比較・検討した結果、近似式において絶対値大とする方が適当であると判断した。

3) フェリーについて行った一点係留船舶の振れ回り計算については、風抗力係数が前後方向の動揺に及ぼす影響は小さいものの、振れ回り角度と張力に影響を及ぼし、特に  $C_M$  の影響が大きいことがわかった。技術基準の式と平石の実験値の  $C_M$  はかなり小さいので、張力は小さく計算された。また、近似式（絶対値大）と近似式（標準誤差 = 0）による計算結果の差異は最大20%程度であった。

4) 一般貨物船およびタンカーについて行った係岸船舶の動揺については、風抗力係数がサージ、スウェイおよび防舷材の変位に及ぼす影響がみられるが、その他の成分については影響が小さいことがわかった。これらには、 $C_x$  または  $C_y$  が影響する。技術基準の式では近似式（絶対値大）に比べて  $C_x$  が小さく、 $C_y$  が大きい、技術基準の式による動揺量は近似式（絶対値大）によるものと比較しても  $\pm 10\%$  程度であった。一方、近似式（絶対値大）と近似式（標準誤差 = 0）との計算結果の差異は最大20%程度であった。

5) 以上の検討の結果、イシャーウッドの提案に基づいて風抗力係数の計算式を提案する。近似式においては標準誤差を考慮し、絶対値大とするものを採用する。

## 6. あとがき

本資料のとりまとめにおいては、(株)三井造船昭島研究所の小林正典、森谷周行、中川寛之、ならびに三菱重工業(株)長崎研究所の池上国広の各氏に貴重な御意見を頂いた。また、一点係留船舶の振れ回り運動の計算およびその考察においては、当所水工部の鈴木康正波浪研究室長ならびに平石哲也主任研究官から助言を得た。これらの諸氏に深甚なる謝意を表するものである。

(平成5年6月30日 受付)

## 参考文献

- 1) 日本港湾協会編：港湾の施設の技術上の基準・同解説、1989年2月、上巻 pp.20~21
- 2) 岩井 聡、矢島澄夫：係泊船に働く風圧力について、日本航海学会第26回講演会論文集、1961年10月、pp.55~62

- 3) 鈴木康正、諸石一章：ブイ係留船舶の荒天時振れ回り運動、港湾技術研究所報告、第21巻第2号、1982年6月、pp.107~150
- 4) R. M. Isherwood : Wind Resistance of Merchant Ships, Bulliiten of the Royal Institution of Naval Architects, 1972年, pp.327~338
- 5) 辻 豊治、高石敬史、菅 信、佐藤辰二：船体に働く風圧力に関する模型試験、船舶技術研究所報告、第7巻第5号、1972年7月、pp.209~233
- 6) 浜田賢二、松本英雄、黒田祐一、早藤能伸：外力算定のための船舶諸元およびマスト高の解析、港湾技研資料、No.714、1991年6月、63P
- 7) 阿式邦弘、根木貴史、村田利治：船舶の主要寸法の統計解析、港湾技研資料、No.652、1989年6月、43P
- 8) 奥野忠一、久米 均、芳賀敏郎、吉澤 正：多変量解析法、日科技連出版社、1974年2月、pp.25~157
- 9) 平石哲也、本城 智：避泊フェリーの係留張力と振れ回り運動に関する検討、港湾技術研究所報告、第30巻第2号、1991年6月、pp.59~153

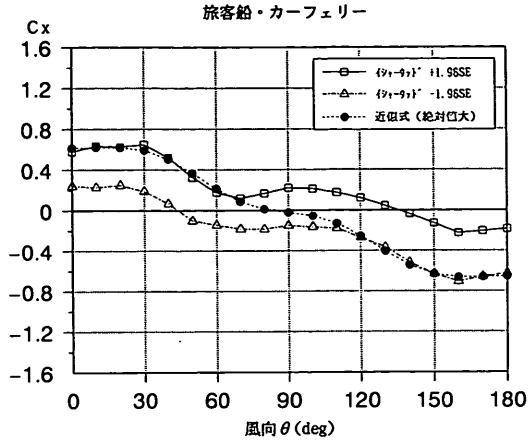
## 主要記号表

- $A_L$  : 水面上船体側面投影面積 (㎡)  
 $A_{ss}$  : 甲板より上部の側面投影面積 (㎡)  
 $A_T$  : 水面上船体正面投影面積 (㎡)  
 $a$  : 船首から風荷重合力が作用する点までの距離 (m)  
 $B$  : 船幅 (m)  
 $C$  : 側面投影面の重心点から船首までの距離 (m)  
 $C_M$  : ミッドシップ回りの風圧モーメント係数  
 $C_w$  : 風抗力係数  
 $C_{w0}$  : 風向角  $\theta = 0^\circ$  における風抗力係数  
 $C_x$  : X方向の風抗力係数  
 $C_y$  : Y方向の風抗力係数  
 $F$  : 分散分析における分散比  
 $h$  : 風向影響係数  
 $L_{oa}$  : 全長 (m)  
 $l$  : 垂線間長 (m)  
 $M$  : 側面投影面におけるマストやキングポストの数  
 $R$  : 風荷重合力 (kgf)  
 $R_M$  : 風荷重合力のミッドシップ回りのモーメント (kgf・m)

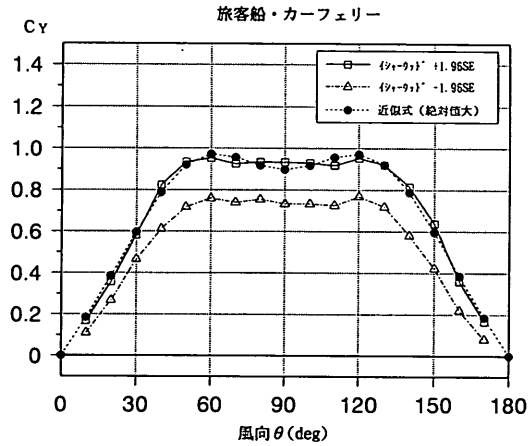
$R_x$  : 風荷重合力の  $X$  方向成分 (kgf)  
 $R_y$  : 風荷重合力の  $Y$  方向成分 (kgf)  
 $S$  : 側面投影面における境界線の長さ (m)  
 (水面と船体の境界線や, マスト・通風管などの  
 細い部分は除く)  
 $T$  : 係留索張力  
 $U$  : 風速 (m/s)  
 $X_A$  : 振れ回り計算における船首の  $X$  方向の変位  
 $Y_A$  : 振れ回り計算における船首の  $Y$  方向の変位  
 $\alpha$  :  $\alpha = 2 A_L / L_{\alpha}^2$   
 $\beta$  :  $\beta = 2 A_T / B^2$   
 $\gamma$  :  $\gamma = L_{\alpha} / B$   
 $\theta$  : 風向が船体中心線となす角 (度)  
 $\rho$  : 空気の密度 (kgf・s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)  
 $\phi$  : 風荷重合力が船体中心線となす角 (度)  
 $\phi_M$  : 船舶の振れ回り角度 (度)

#### 付 録 重回帰分析による近似式の算定結果

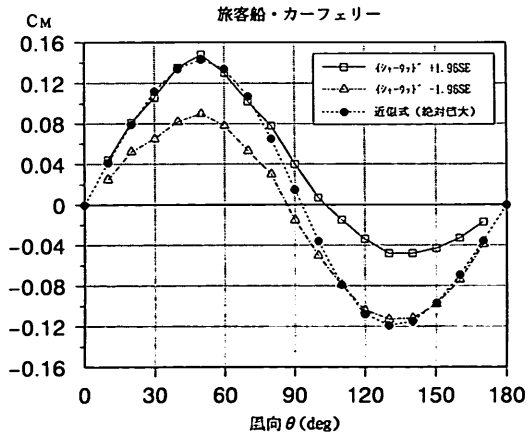
風向 $\theta$ をパラメータとする近似式(絶対値大)とイシャー  
 ウッドの提案による風抗力係数(標準誤差 $\pm 1.96SE$ )  
 を比較した結果を付図-1~付図-11に示す。



付図-1(1) 風向 $\theta \sim C_x$



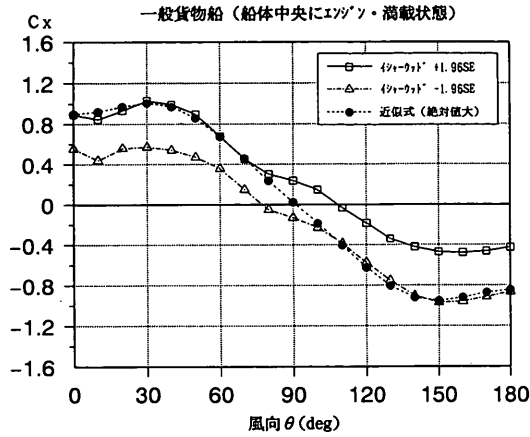
付図-1(2) 風向 $\theta \sim C_y$



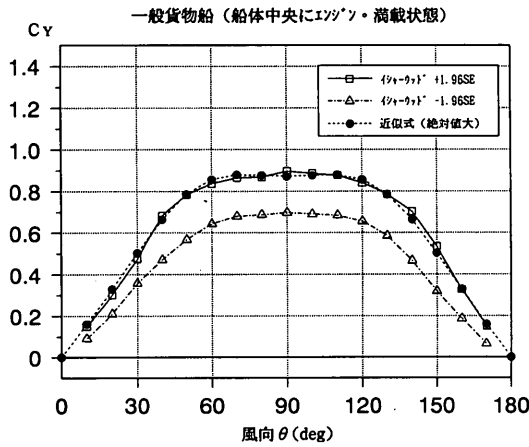
付図-1(3) 風向 $\theta \sim C_m$

付図-1 イシャーウッドの提案と近似式の比較 (絶対値大)  
旅客船・カーフェリー

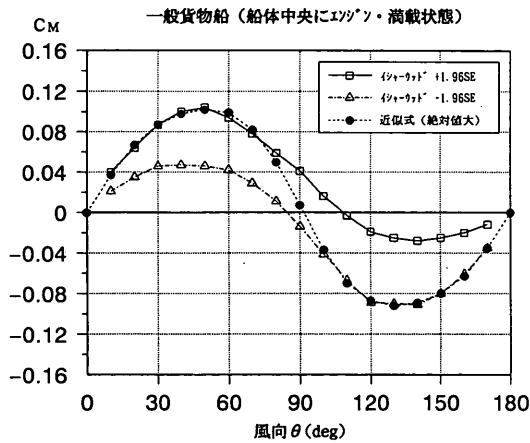




付図- 2(1) 風向  $\theta \sim C_x$

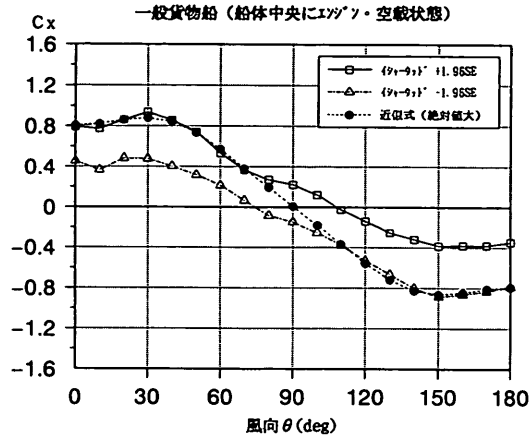


付図- 2(2) 風向  $\theta \sim C_y$

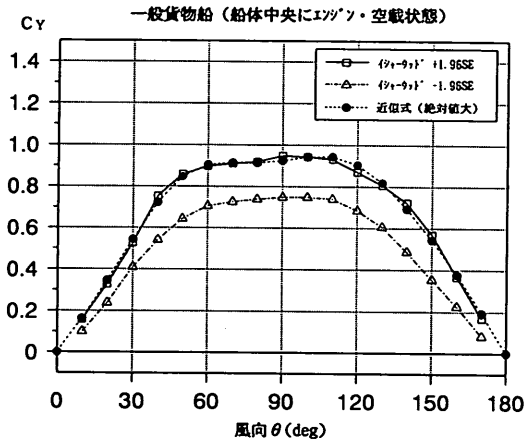


付図- 2(3) 風向  $\theta \sim C_m$

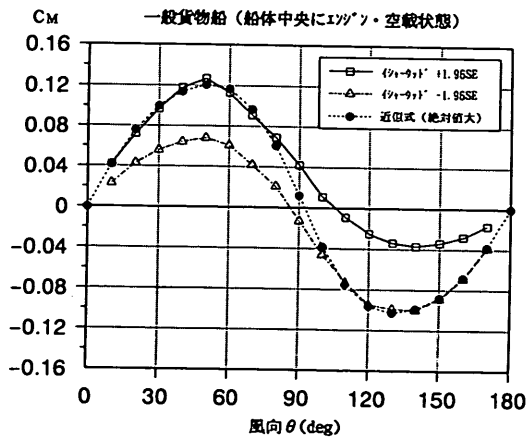
付図- 2 イシャーウッドの提案と近似式の比較（絶対値大）  
 一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ、満載状態）



付図-3(1) 風向  $\theta \sim C_x$

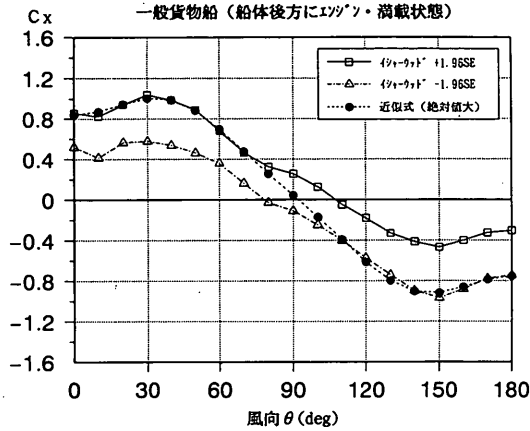


付図-3(2) 風向  $\theta \sim C_y$

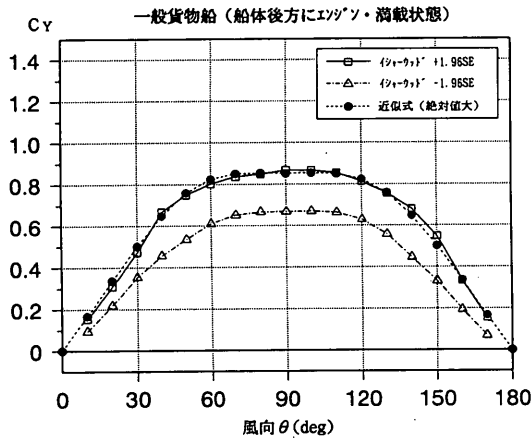


付図-3(3) 風向  $\theta \sim C_m$

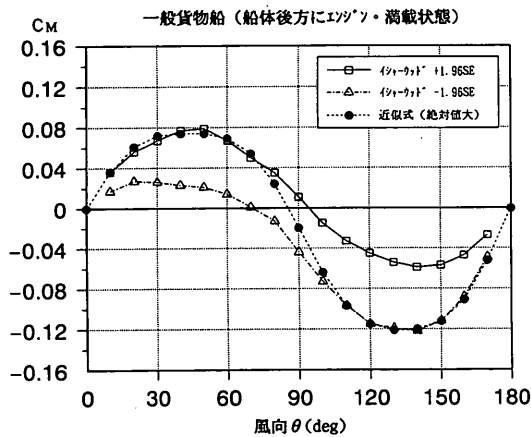
付図-3 イシャーウッドの提案と近似式の比較（絶対値大）  
一般貨物船（船体中央にエンジンがあるタイプ、空載状態）



付図-4(1) 風向  $\theta \sim C_x$

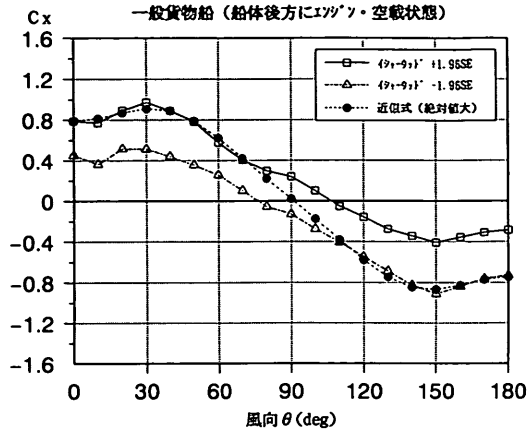


付図-4(2) 風向  $\theta \sim C_y$

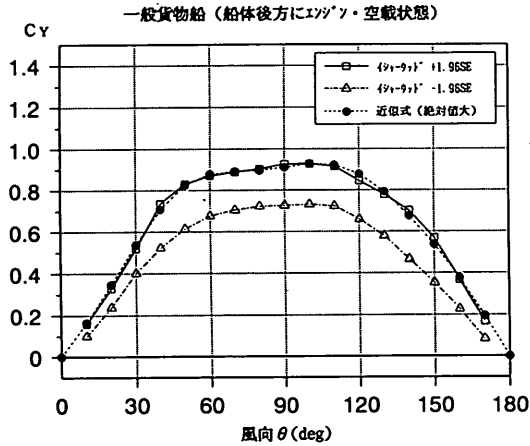


付図-4(3) 風向  $\theta \sim C_m$

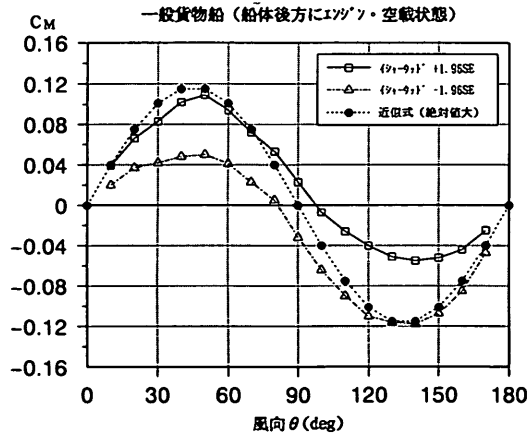
付図-4 イシャウッドの提案と近似式の比較（絶対値大）  
一般貨物船（船体後方にエンジンがあるタイプ、満載状態）



付図-5(1) 風向  $\theta \sim C_x$

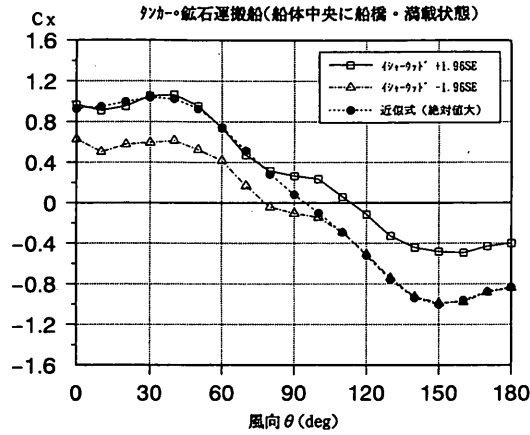


付図-5(2) 風向  $\theta \sim C_y$

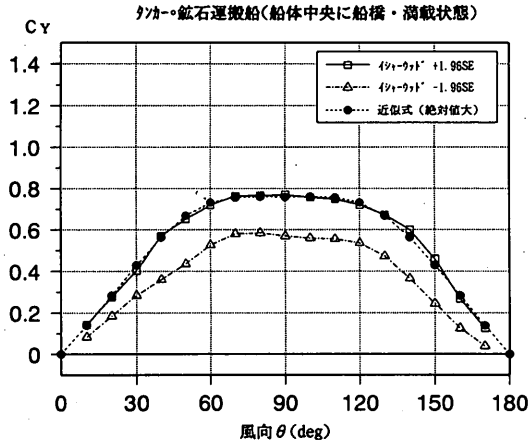


付図-5(3) 風向  $\theta \sim C_m$

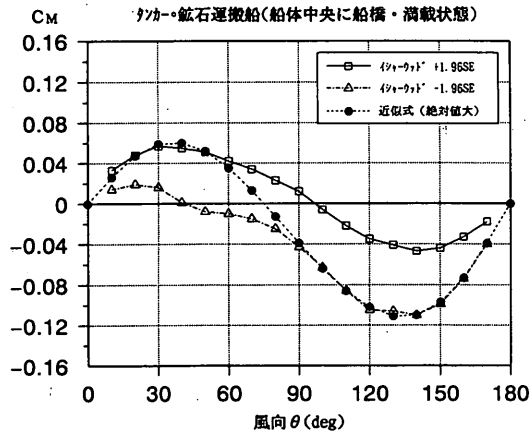
付図-5 イシャーウッドの提案と近似式の比較（絶対値大）  
一般貨物船（船体後方にエンジンがあるタイプ、空載状態）



付図-6(1) 風向  $\theta \sim C_x$

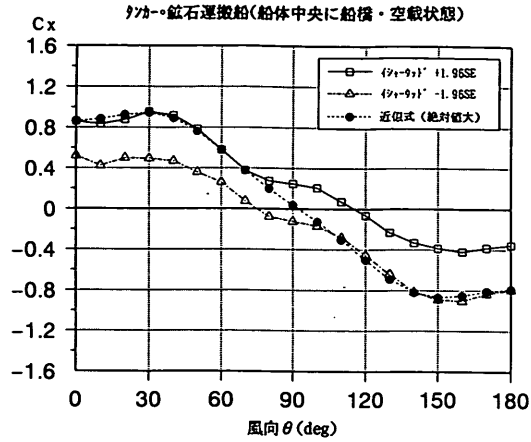


付図-6(2) 風向  $\theta \sim C_y$

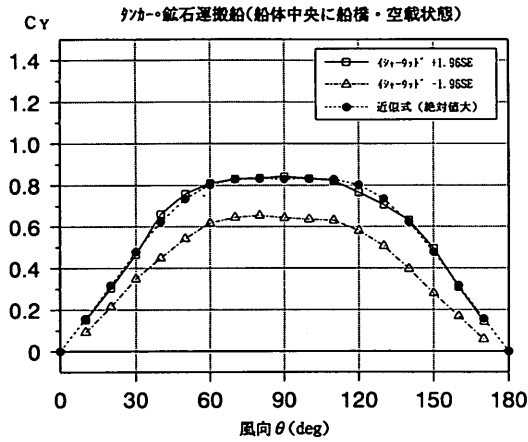


付図-6(3) 風向  $\theta \sim C_M$

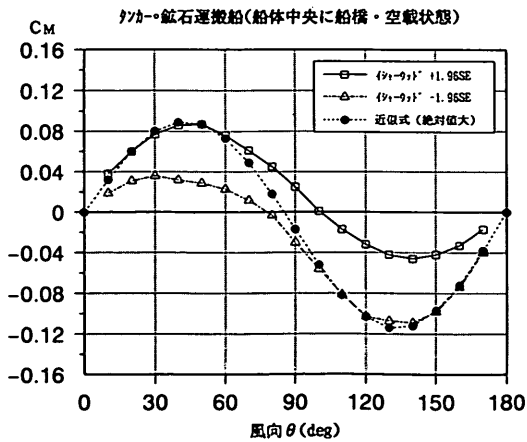
付図-6 イシャーウッドの提案と近似式の比較(絶対値大)  
 タンカー・鉱石運搬船(船体中央に船橋があるタイプ, 満載状態)



付図-7(1) 風向  $\theta \sim C_x$

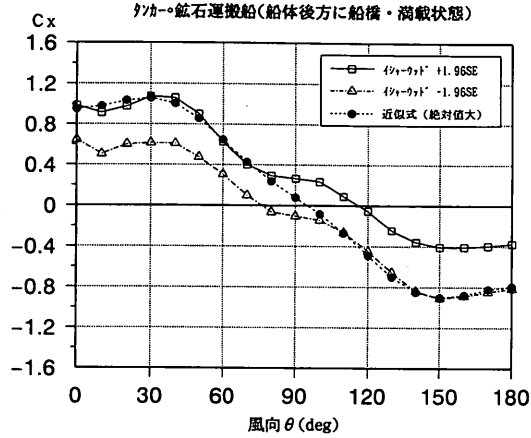


付図-7(2) 風向  $\theta \sim C_y$

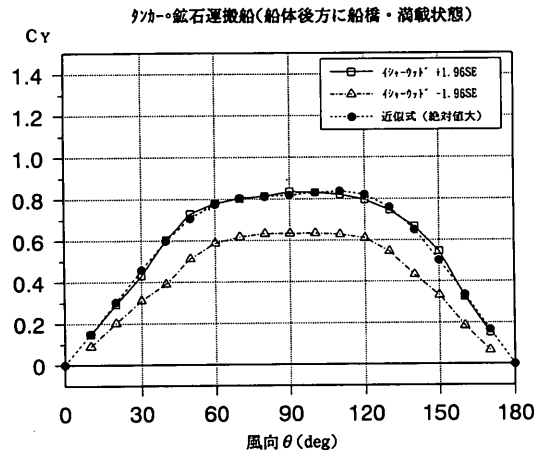


付図-7(3) 風向  $\theta \sim C_m$

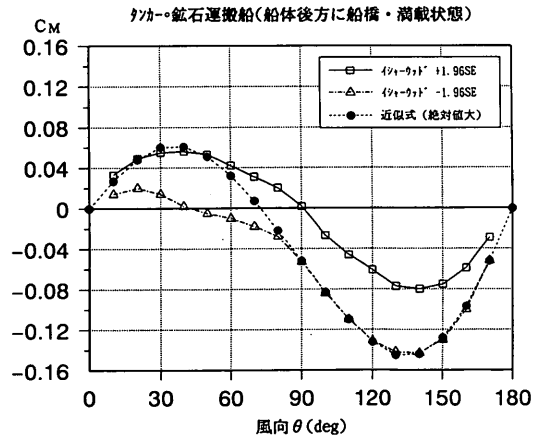
付図-7 イシャーウッドの提案と近似式の比較(絶対値大)  
 タンカー・鉱石運搬船橋(船体中央に船橋があるタイプ, 空載状態)



付図-8(1) 風向  $\theta \sim C_x$

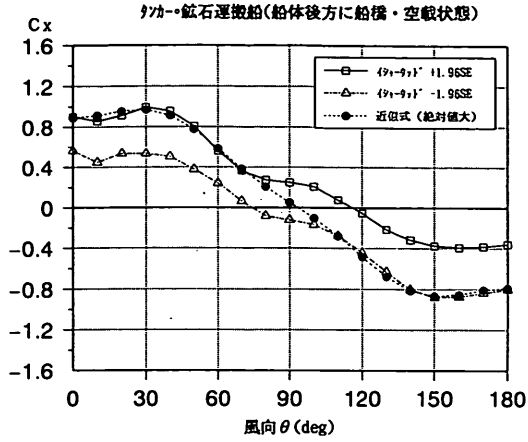


付図-8(2) 風向  $\theta \sim C_y$

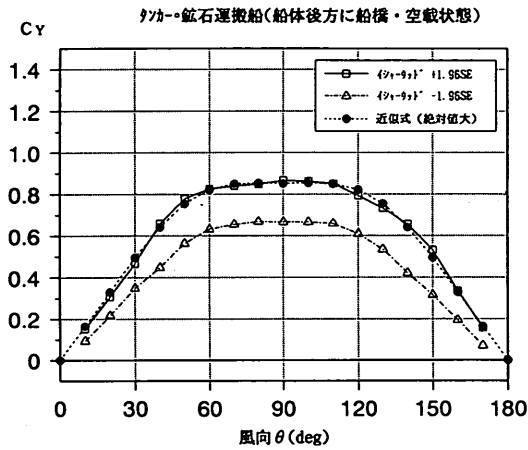


付図-8(3) 風向  $\theta \sim C_M$

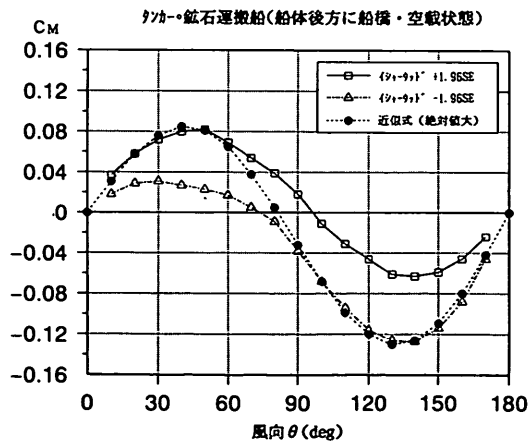
付図-8 イシャーウードの提案と近似式の比較 (絶対値大)  
 タンカー・鉱石運搬船橋 (船体後方に船橋があるタイプ, 満載状態)



付図-9(1) 風向 $\theta \sim C_x$



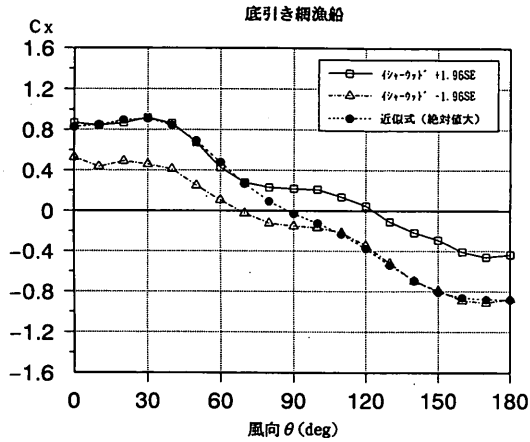
付図-9(2) 風向 $\theta \sim C_y$



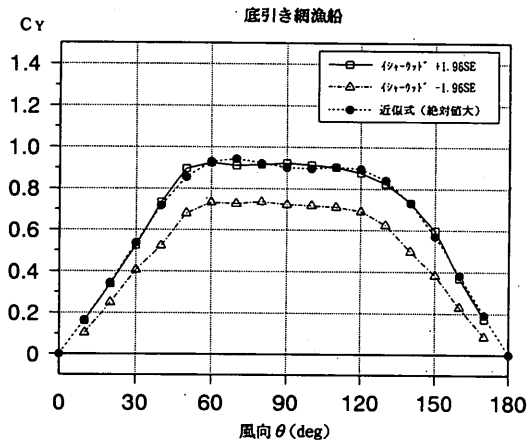
付図-9(3) 風向 $\theta \sim C_M$

付図-9 イシャーウッドの提案と近似式の比較(絶対値大)  
タンカー・鉱石運搬船橋(船体後方に船橋があるタイプ, 空載状態)

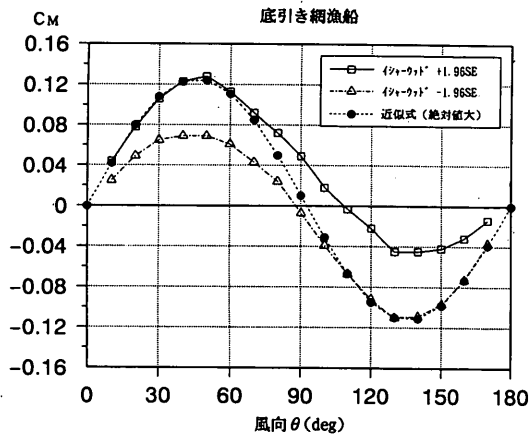




付図-10(1) 風向  $\theta \sim C_x$

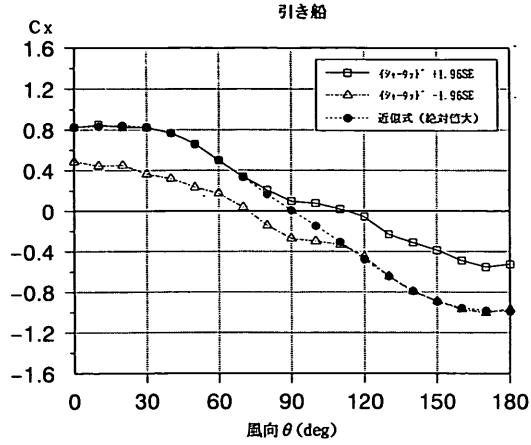


付図-10(2) 風向  $\theta \sim C_y$

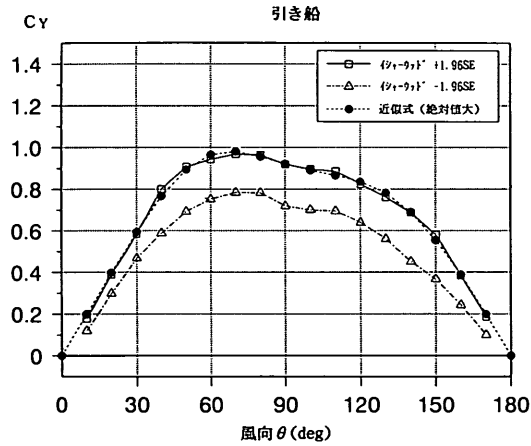


付図-10(3) 風向  $\theta \sim C_m$

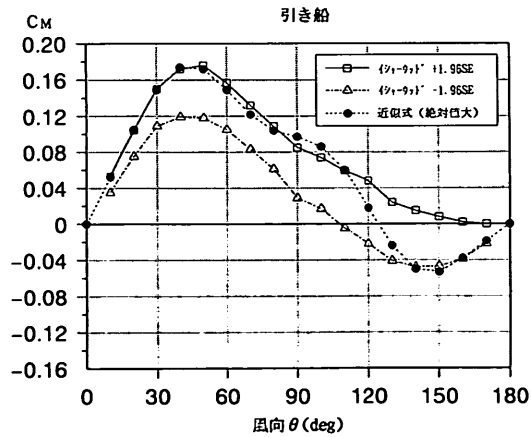
付図-10 イシャーウッドの提案と近似式の比較 (絶対値大)  
底引き網漁船



付図-11(1) 風向  $\theta \sim C_x$



付図-11(2) 風向  $\theta \sim C_y$



付図-11(3) 風向  $\theta \sim C_M$

付図-11 イシャウッドの提案と近似式の比較 (絶対値大)  
引き船

港湾技研資料 No. 760

1993・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1993) by P.H.R.I

Allright reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of. P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。