

# 高速コンテナ船の斜め波中におけるスラスト, トルク変動に関する模型実験 — $L/B=8$ の1軸および2軸船について—

吉野 泰平\*・猿田 俊彦\*・吉野 良枝\*

## Model Tests on Thrust and Torque Increase and Fluctuations Acting on the Propeller Shafts of High-speed Container Ships with Single or Twin Screws in Oblique Waves

by

Taihei YOSHINO, Toshihiko SARUTA and Yoshie YOSHINO

### Abstract

In the recent faster and larger container ship, hull form becomes more slender and number of propeller tends to increase from single screw to twin or triple screws, further to quadruple screws under planning, as the power of propulsion increases. For design of main engine of such a vessel it is necessary to estimate the sea margin of propulsion power enough to keep the designed ship speed in rough seas, because exact and periodical operations are especially important for a modern, high-speed container ship. In addition, severe fluctuations of thrust and torque induced by ship motions in waves will be one of the major reason that the master will be forced to reduce ship speed, i.e. the deliberate speed reduction, in order to prevent from the excitation of dangerous synchronism of vibrations of the propulsion system.

This paper describes the test results on these problems, i.e. the mean increments and the fluctuation amplitudes of thrust and torque in oblique waves. The model tests were carried out in the Seakeeping tank of S.R.I. with a wide variation of wave length, heading angle and ship speed. Two tested models have the same  $L/B$  and  $B/d$  values, while the one is a single screw ship and the another is a twin screw ship.

The results are obtained as follows:

- a) thrust and torque increases are remarkable in head and bow seas for both ships with small difference between weather and lee side propellers,
- b) thrust and torque fluctuate in different manner for both ships and for both sides of propellers. The fluctuations become larger in bow seas for single screw ship, while the larger fluctuations occur in quartering seas for the lee side propeller of the twin screw ship.

### 1. ま え が き

コンテナ船は近時ますます高速化され、船型の細長化とともに搭載主機関の出力の増加、推進器軸の多軸化などの傾向がみられる。

船舶が波浪中を航行すると波により抵抗が増し、平

水中と同じ船速を維持するためには余分な馬力を必要とする。コンテナ船は貨物の高速輸送や定時運航を強く要求されるため、強力な主機関を搭載して波浪中でも高速を維持しようとするが、それには搭載主機関の設計に当たって、シーマージンの適確な予測が要求され、波浪によるスラスト、トルク、あるいは馬力の増加を正確に推定することが望まれる。また、波浪中では波浪や船体動揺により、プロペラのスラスト、トル

\* 運動性能部 原稿受付: 昭和49年2月27日

ク、回転数などが変動する。たとえば、荒海中でプロペラの露出による空転はその最もはなはだしいものである。このようなスラストやトルクの変動は、大出力の主機関の運転にとって好ましいものではないので、コンテナ船の運航に当たっては、これらの変動が著しく大とならないように常に注意が払われており、運航者にとってそれらの変動の大きさと波浪や船の条件との関連を正確に予測することが望ましい。

斜め波中のプロペラスラストおよびトルクの増加ならびに変動については、これまでも二、三の模型実験<sup>1),2)</sup>が行われ、また、斜め波中の船体抵抗の増加を計算する理論<sup>3)</sup>が発表されているが、コンテナ船の実際の設計や運航に応用する上でも充分とはいえない。そこで、著者らは超高速コンテナ船の耐航性能に関する研究の一環として、斜め波中におけるスラストとトルクの増加、ならびにそれらの変動について(1)1軸船と2軸船との比較(2)2軸船の weather side と lee side との比較を主眼とする模型実験を実施したので報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1. 模型船

模型実験に供した模型船は1軸コンテナ船と2軸コンテナ船の2隻で、その船型はいずれも(社)日本造船研究協会第108部会が設計した船型である<sup>4)</sup>。模型船はいずれも木製で、その船長は1軸船(S-8と略称)は5.225m(縮尺1/45.93)、2軸船(T-8と略称)は5.00m(縮尺1/48.0)である。本実験は1軸船と2軸船との比較がひとつの主眼であるので、両船の船長/船幅(L/B)および船幅/吃水(B/d)を等しくした。実験時の模型船の主要目と、想定した実船に換算した主要目とをTable 1に、また、両船の線図をFig. 1およびFig. 2に示す。

### 2.2. 実験方法

模型実験は船舶技術研究所三鷹第1船舶試験水槽(80m×80m×4.5m)で行った。模型船は無線で操縦される自航模型船で、計測中の操舵は自動方位設定装置で行われ、指定した針路が保たれる。プロペラ駆動

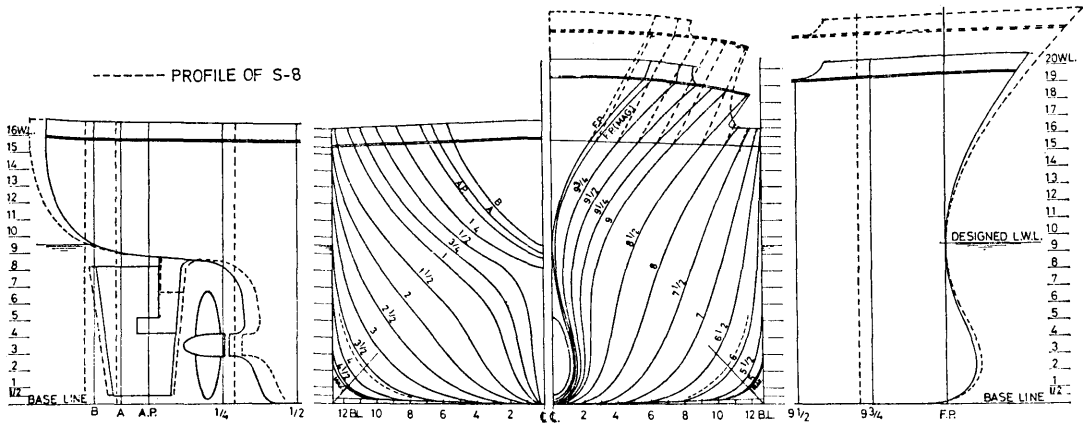


Fig. 1 Body plan of the single screw ship (S-8 Type)

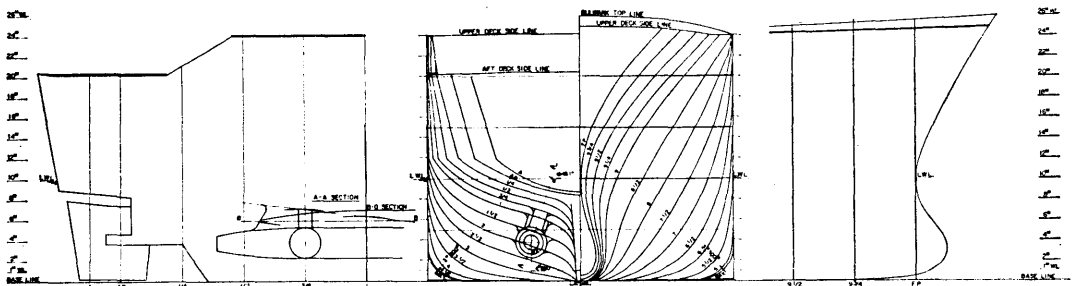


Fig. 2 Body plan of the twin screw ship (T-8 Type)

Table 1 Principal dimensions of the ships and models

Items			Single Screw Ship (S-8)		Twin Screw Ship (T-8)		
			Ship	Model	Ship	Model	
Length betw. P.P.	$L$	(m)	240.000	5.225	240.000	5.000	
Breadth Mld.	$B_0$	(m)	30.000	0.653	30.000	0.625	
Depth Mld.	$D$	(m)	18.189	0.396	24.000	0.500	
Draft Designed (Tested Condition)	$d_0$	(m)	11.208	0.244	10.000	0.208	
Draft fore	$d_f$	(m)	11.208	0.244	11.208	0.2335	
Draft aft	$d_a$	(m)	11.208	0.244	11.208	0.2335	
Draft mean	$d_m$	(m)	11.208	0.244	11.208	0.2335	
Trim	$t$	(m)	0	0	0	0	
Block Coefft.	$C_B$		0.572	0.572	0.586	0.586	
Midship Coefft.	$C_M$		0.966	0.966	0.982	0.982	
Water Plane Coefft.	$C_W$		0.686	0.686	0.803	0.803	
Displacement Vol.	$V$	(m <sup>3</sup> )	46,159	0.4763	47,289	0.4276	
Position of C.G.	$l_{cb}$	(m)	3.734	0.0813	7.52	0.1567	
Height of C.G.	$\overline{KG}$	(m)	11.212	0.2441	14.390	0.300	
Metacentric Height	$\overline{GM}$	(m)	1.191	0.02593	1.358	0.0283	
Radius of Gyration	$\kappa = K/L$		0.240	0.240	0.240	0.240	
Rolling Period	$T_\phi$	(sec)	19.315	2.850	19.953	2.88	
Rudder Area (inc. Horn)	$A_R$	(m <sup>2</sup> )	52.598	0.0249	54.6	0.0237	
Bilge Keels	Depth	(m)	0.533	0.0116	0.450	0.0094	
	Total Length	(m)	60.000	1.3063	72.000	1.500	
	Length fore Midship	(m)	27.000	0.5875	36.000	0.750	
	Length aft Midship	(m)	33.000	0.7187	36.000	0.750	
Propeller	Diameter	$D_p$	(m)	7.680	0.1672	5.910	0.1231
	Pitch Ratio	$p$		1.055	1.055	1.245	1.245
	Exp. Area Ratio			0.73	0.73	0.8372	0.8372
	Blade Thickness Ratio			0.0446	0.0446	0.057	0.057
	Boss Ratio			0.1846	0.1846	0.18	0.18
	Angle of Rake	(deg)		5°42'6	5°42'6	10°	10°
	Number of Blade			5	5	5	5
	Direction of Turning			Right	Right	Out	Out

用の主機は D.C. 24 V, 560 W, 3,000 R.P.M. 定格の直流分巻電動機で、その駆動力は減速比 1/2 の減速ギヤーおよび動力計を介してプロペラに伝えられる。2 軸船の場合は 1 軸船と同じ電動機を使用し、動力は 2 軸用減速ギヤー (減速比 1/2) で 2 軸に分け、それぞれの軸に同一型式の動力計を使用した。したがって、2 軸船の両軸の回転数は常に等しく、外回り前進である。Fig. 3 に動力計の概要図を示した。スラストとトルクの検出には磁わい管が用いられ、回転数はパル

スカウンタによりデジタル量として検出されるほか、アナログ信号にも変換される。また、馬力はトルクと回転数とを電氣量として掛け合わせて出力される。なお、この磁わい式動力計は予備実験の際、地磁気の影響により船の方位によって零点に若干の差が生じることが判明したので、本実験には、この欠点を除去する改造を施して使用した。

実験はすべて規則波中で行われ、波長 ( $\lambda$ ) は船長 ( $L$ ) の 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5 倍の 5 種類をとり、

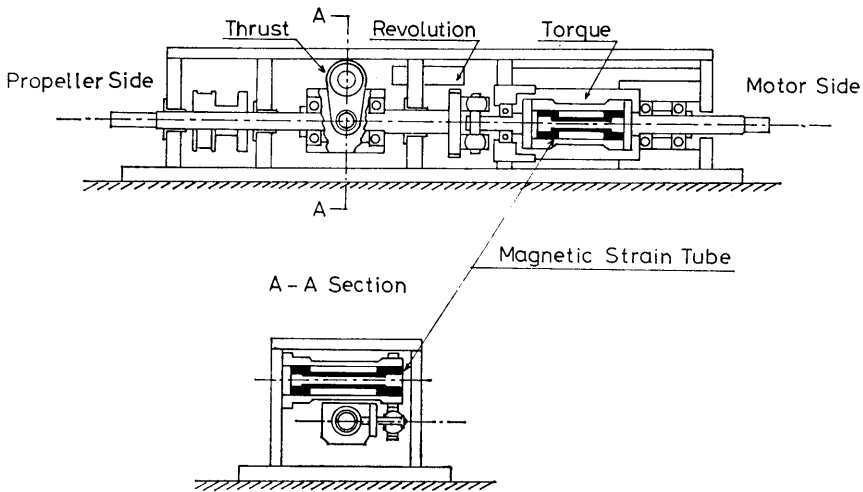


Fig. 3 Propeller dynamometer

波高 ( $\zeta_w$ ) は船長の 1/40 一定とした。波との出合角度 ( $\chi$ ) は  $180^\circ$  (向かい波) から  $30^\circ$  まで  $30^\circ$  間隔に 6 種類、船速はフルード数 ( $F_n = v_m / \sqrt{gL}$ ) で 0.15 から 0.3 まで数種類に変えて航走した。なお、横波と斜め波の場合、右舷側が weather side, 左舷側が lee side となるように航走した。

計測項目はスラスト, トルク, 回転数, 縦揺れ, 横揺れ, 船首揺れ, 船首揺れ角速度の 7 項目のほか, 定置式波高計により波高を, また, 自動航跡自画装置により波との出合角度および船速を計測した。なお, 2 軸船についてはテレメータの素子数の都合により, 回転数, 船首揺れ, 船首揺れ角速度は計測されなかった。

### 3. 実験結果

#### 3.1. 実験結果の表示

船体動揺ならびにスラスト, トルクのデータは模型船上からテレメータで計測室に電送され, ペン書きオシロに記録される。これらの記録から船体動揺については変動振幅を, また, スラストとトルクについては変動振幅とその中心の零点からの偏差を読みとった。船体動揺およびスラスト, トルクの周期的な変動振幅の値は Fig. 4 に示した一例のように, 波との出合角度ごとに船速に対して  $\lambda/L$  をパラメータとした図に画かれる。この図から  $F_n$  が 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 などの船速のときの各波長に対する値を補間によって求めた。波浪中のスラスト増加とトルク増加については Fig. 5 の例に示すように, 船速に対する波

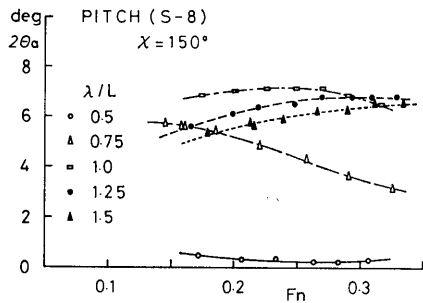


Fig. 4 An example of the results of ship motions

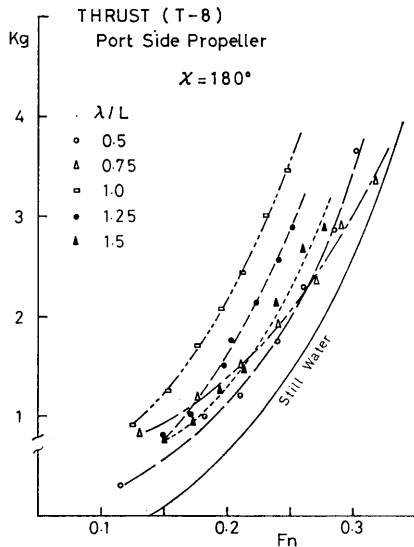


Fig. 5 An example of the results of thrust

浪中のスラスト（トルク）の平均値を  $\lambda/L$  をパラメータとした図を画いた。この図から  $F_n$  が 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 などの船速のときの波浪中のスラスト（トルク）の平均値と、平水中のスラスト（トルク）との差を読みとり、これを波によるスラスト増加（トルク増加）とした。なお、Fig. 5 の縦軸のゼロは、実験航走直前に船を停めたまま行、極く低速の一定プロペラ回転数のときの値であり、真のスラスト零を表すものではない。

プロペラのスラスト、トルクの周期的変動量の大きさは、駆動機特性によって変化することが田崎によって示されている<sup>5)</sup>ので、本実験の結果も厳密に言えば電動機特性を考慮して修正すべきであるが、本報告では未修正の値を用いる。

船体動揺およびスラスト、トルクなどの実験結果の表示は、下記のように無次元化して表す。

#### 船体動揺

縦揺れ	$\mu_\theta = \theta_a / k\zeta_a$
横揺れ	$\mu_\varphi = \varphi_a / k\zeta_a$
船首揺れ	$\mu_\psi = \psi_a / k\zeta_a$
船首揺れ角速度	$\mu_{\dot{\psi}} = \dot{\psi}_a / \omega_e k\zeta_a$

ここに  $\theta_a$ : 縦揺れ振幅

$\varphi_a$ : 横揺れ振幅

$\psi_a$ : 船首揺れ振幅

$\dot{\psi}_a$ : 船首揺れ角速度振幅

$\zeta_a$ : 波振幅

$k\zeta_a$ : 最大波傾斜  $k = 2\pi/\lambda$

$\omega_e$ : 出合波の円周波数

#### スラスト、トルク

スラスト増加  $\tau_r = T_{AW} / (\rho g \zeta_w^2 B^2 / L)$

トルク増加  $\kappa_r = Q_{AW} / (\rho g \zeta_w^2 D_P B^2 / L)$

スラスト変動  $\tau_f = T_{AF} / (\rho g \zeta_w^2 B^2 / L)$

トルク変動  $\kappa_f = Q_{AF} / (\rho g \zeta_w^2 D_P B^2 / L)$

ここに  $T_{AW}$ : スラスト増加量

$Q_{AW}$ : トルク増加量

$T_{AF}$ : スラスト変動振幅

$Q_{AF}$ : トルク変動振幅

$\rho$ : 水の密度

$g$ : 重力の加速度

$\zeta_w$ : 波高  $= 2\zeta_a$

$B$ : 船の幅

$L$ : 船長

$D_P$ : プロペラ直径

#### 3.2. 船体動揺

1 軸船の出合角度に対する縦揺れ、横揺れ、船首揺れ、および船首揺れ角速度の変動振幅の応答を、波長 ( $\lambda/L$ ) をパラメータとして示すと Fig. 6~9 のようである。また、2 軸船の縦揺れと横揺れの応答を Fig. 10, 11 に示す。

縦揺れの応答は向かい波や斜め向波のときに大きく、波長が長いほど大きい。横波中での縦揺れは非常に小さい。1 軸船と 2 軸船とでは 1 軸船の方がやや大きい値を示している。

横揺れ応答は両船とも出合角度  $50^\circ \sim 60^\circ$  付近の追波中で大きな応答を示し、波長の長いほどその値は大きい。1 軸船と 2 軸船とでは応答の最大値には余り差はみられないが、1 軸船の方が短周期の波に対しても揺れやすい傾向がみられる。

船首揺れ、船首揺れ角速度の実験結果は 1 軸船のものだけであるが、船首揺れ、船首揺れ角速度は、出合角度が  $40^\circ \sim 45^\circ$  付近の斜め追波の場合に最も大きく、向かい波や追波、あるいは横波に対しては非常に小さい。また、両者に対する波長の影響は、波長が長いほど応答は大きくなる。

#### 3.3. スラスト増加、トルク増加

1 軸船および 2 軸船の波浪中のスラスト増加ならびにトルク増加の計測結果を Fig. 12~26 に示す。Fig. 12 は 1 軸船のプロペラ、また、Fig. 13, 14 は 2 軸船の weather side プロペラ、Fig. 15, 16 は lee side プロペラの波長に対するスラスト増加の応答を船速をパラメータとし、出合角度別に示したものである。さらに、これらの図から  $F_n = 0.25$  のときの両船のスラスト増加の応答を、波長をパラメータとし、出合角度に対して図示すると Fig. 17 および Fig. 18 のようになる。Fig. 19~26 にはスラスト増加と同じ表現方法で、1 軸船と 2 軸船のトルク増加の応答を示してある。これらの図から、スラスト増加、トルク増加の一般的な傾向を述べると次のようである。

(1) スラスト増加とトルク増加とは非常によく似た傾向を示す。

(2) 1 軸船と 2 軸船の傾向は似ている。

(3) 2 軸船の weather side と lee side とは、追波で波長の短い部分を除くと、ほとんど同じ傾向を示す。

(4) スラスト増加、トルク増加は、向かい波、斜め向波のときに大きな応答を示し、横波から追波にかけての応答は小さい。

(5) スラスト増加、トルク増加は  $\chi = 180^\circ$ ,  $\lambda/L$

=1 のときに最大となる。1 軸船と 2 軸船の 1 隻当たりのスラスト増加の最大値を比較すると、2 軸船の方が大きい。ここで 1 隻当たりというのは船の排水量当たりの意味である。

### 3.4. スラスト変動, トルク変動

1 軸船および 2 軸船のスラスト変動とトルク変動の結果を Fig. 27~42 に示す。Fig. 27, 28, Fig. 29, 30, Fig. 31, 32 はそれぞれ 1 軸船および 2 軸船の weather side ならびに lee side の波長( $\lambda/L$ )に対するスラスト変動振幅の応答を、船速をパラメータとし、波との出合角度ごとに示したものである。また、スラスト変動を出合角度に対して図示すると Fig. 33, 34 のようになる。同様な表現法で 1 軸船, 2 軸船のトルク変動振幅の応答を Fig. 35~42 に示す。これらの図からスラスト変動, トルク変動の一般的な傾向について述べると次のようである。

- (1) スラスト変動とトルク変動の振幅応答は、同一の船については似た傾向である。しかし、1 軸船と 2 軸船とを比べると異なった傾向を示す。
- (2) 1 軸船のスラストおよびトルクの変動は、斜め向波中で大きい。
- (3) 2 軸船の weather side と lee side では異なった傾向を示す。すなわち、weather side のスラストおよびトルクの変動は、斜め向波のときに大きくなり、lee side は斜め追波のときに大きな変動を示す傾向がある。

### 3.5. 他の水槽の実験結果との比較

以上、角水槽で行われた実験結果について述べたが、斜め波中のスラスト増加やトルク増加についてのデータは非常に少ないので、余所の研究機関で行われた実験結果との比較を行ってみる。

Fig. 43~46 は G. Vossers による Series 60 模型による実験結果<sup>7)</sup>より、スラスト増加ならびにトルク増加を波との出合角度に対して図示したもので、Fig. 43, 44 は  $L/B=8$ ,  $C_B=0.70$  の場合、Fig. 45, 46 は  $L/B=7$ ,  $C_B=0.572$  の場合の図である。これらの図を本論文の S-8 船型 (1 軸コンテナ船,  $L/B=8$ ,  $C_B=0.572$ ) のスラスト増加およびトルク増加を出合角度に対して示した Fig. 17 ならびに Fig. 25 と比較してみると、スラスト増加およびトルク増加の出合角度や波長に対する応答の傾向は S-8 船型と良く似ており、また、スラスト増加とトルク増加の傾向が似ていることも S-8 船型の場合と同様である。しかしながら、スラスト増加, トルク増加の応答の値は G. Vossers

の実験値の方が全般的に大きい。これは G. Vossers の用いた模型船の船型が S-8 船型に比べて、同じ  $L/B$  のときでも  $C_B$  が大きいこと (Fig. 43, 44), あるいは  $C_B$  が等しい場合でも船幅が広い (Fig. 45, 46) こと等によるものと思われる。

Fig. 47 は S-8 船型の向かい波中のスラスト増加とトルク増加を、大阪大学の実験結果<sup>9)</sup>ならびに三井造船(株)の実験結果<sup>7)</sup>と比較したものである。大阪大学の実験に用いた船型は S-8 船型 (当研究所と同一模型) であり、三井造船(株)の使用した模型船の船型は 3 軸コンテナ船模型 ( $L=4\text{ m}$ ,  $L/B=7.828$ ,  $C_B=0.573$ ) であるが、実験時には中央軸のプロペラのみを使用している。Fig. 47 によれば、波長に対するスラスト増加, トルク増加の傾向は三者ともほぼ似ているが、当研究所の応答曲線は他の二者に比べ、いくぶん尖鋭化した山形になっている。また、当研究所の実験値は他の二者より全般的に小さく、低速の場合にはそれほどの差はみられないが、高速になると差が大きくなる傾向がみられる。

## 4. む す び

$L/B$ ,  $B/d$  の等しい 1 軸および 2 軸のコンテナ船 2 隻の模型を用いて、斜め波中におけるスラスト増加, トルク増加, ならびにそれらの変動に関する実験を行い、大略次のような結果を得た。

- (1) スラスト増加とトルク増加の波長や出合角度に対する応答の傾向は同じで、向かい波や斜め向波のときに大きな応答を示す。この傾向は 1 軸船, 2 軸船ともに同じであり、また、2 軸船の weather side と lee side との違いも僅少である。
- (2) スラスト変動とトルク変動は、同一の船については似た傾向を示すが、1 軸船と 2 軸船とは異なった傾向である。また、2 軸船の weather side と lee side との傾向も異なる。すなわち、1 軸船および 2 軸船の weather side のプロペラは斜め向波中で、2 軸船の lee side のプロペラは斜め追波中で変動が大きい。

以上の実験結果は負荷に対する回転変動の少ない直流分巻電動機を駆動力としたものであるから、負荷特性の異なる主機関を搭載する実船に適用するには負荷特性の違いを考慮する必要がある。また、2 軸船については、両軸を直結して同一のモータで駆動したことも一般の実船とは異なっている。将来このような点を考慮して駆動用電動機を実船の搭載機関の特性に合わ

せて制御しながら実験を行うことも必要であると考え  
る。なお、 $L/B=6.89$  の 1 軸コンテナ船に対する模型  
実験も計画中であり、別の機会に本研究結果との比較  
も含めて発表したい。

**付記:** 本研究は (社)日本造船研究協会第 108 部会  
ひきつづいて同 125 部会との共同研究として行わ  
れたものであり、その一部は、すでに同協会に報  
告<sup>6)</sup> されていることを付記する。

#### 参 考 文 献

- 1) G. Vossers, W.A. Swaan and H. Rijken: Experiments with Series 60 Models in Waves, S.N.A.M.E., Vol. 68, (1960)
- 2) Y. Yamanouchi and S. Ando: Experiments on a Series 60,  $C_B=0.70$  Ship Model in Oblique Regular Waves, 船研英文報告 No. 18 (1966)
- 3) 細田龍介: 斜波中における船体抵抗増加に関する研究, 日本造船学会論文集第 133 号 (昭和48年 6 月)
- 4) 高石敬史ほか: 高速コンテナ船の斜め波中における動揺特性— $L/B=8$  の 1 軸および 2 軸船について—, 関西造船協会誌第 144 号 (昭和47年 6 月)
- 5) 田崎 亮: 波浪中自航試験における駆動機特性, 造船協会論文集第 101 号 (昭和32年 8 月)
- 6) 日本造船研究協会第 125 研究部会: 超高速コンテナ船の耐航性に関する研究 (昭和47年 3 月)
- 7) 杉村 泰ほか: 超高速 3 軸コンテナ船の耐航性能に関する研究, 三井造船技報第82号 (昭和48年 4 月)

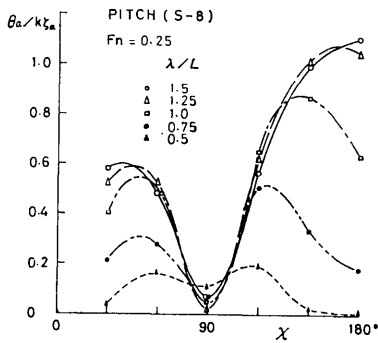


Fig. 6 Pitching amplitude versus heading angle for the single screw ship

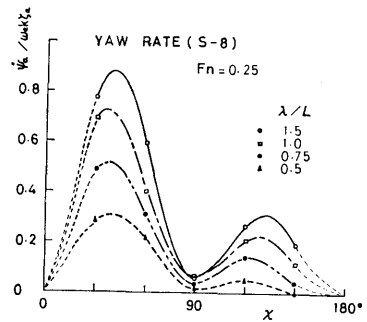


Fig. 9 Amplitude of yawing rate versus heading angle for the single screw ship

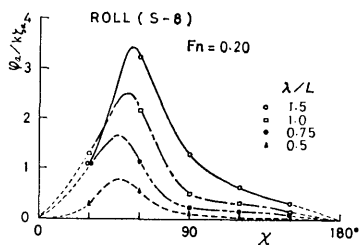


Fig. 7 Rolling amplitude versus heading angle for the single screw ship

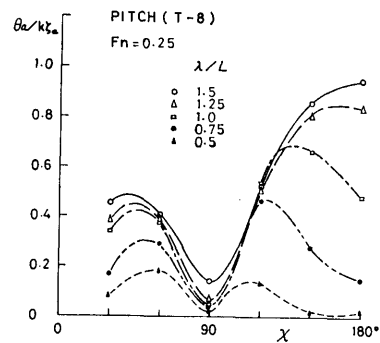


Fig. 10 Pitching amplitude versus heading angle for the twin screw ship

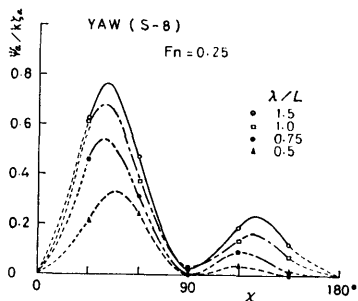


Fig. 8 Yawing amplitude versus heading angle for the single screw ship

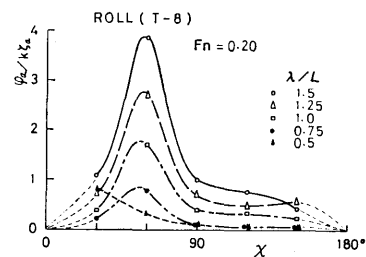


Fig. 11 Rolling amplitude versus heading angle for the twin screw ship



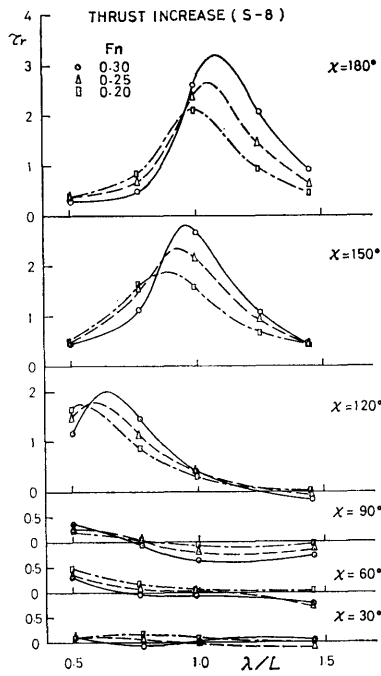


Fig. 12 Mean thrust increase for the single screw ship

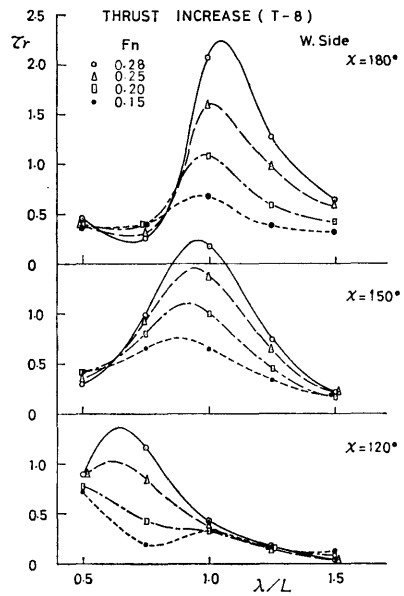


Fig. 13 Mean thrust increase for the propeller at weather side of the twin screw ship

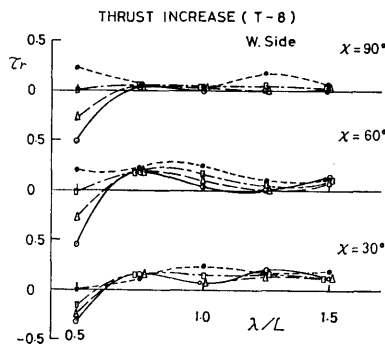


Fig. 14 Mean thrust increase for the propeller at weather side of the twin screw ship

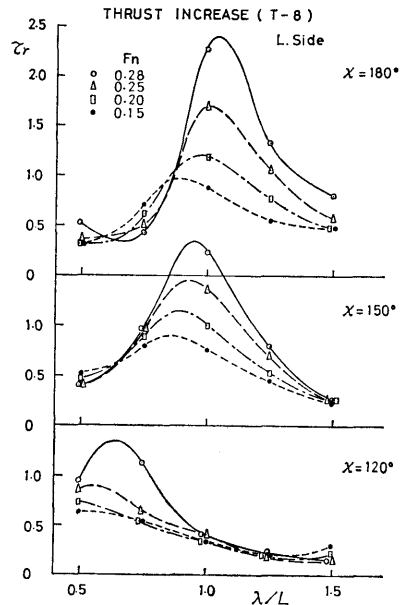


Fig. 15 Mean thrust increase for the propeller at lee side of the twin screw ship

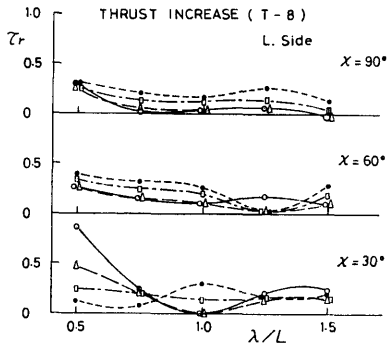


Fig. 16 Mean thrust increase for the propeller at lee side of the twin screw ship

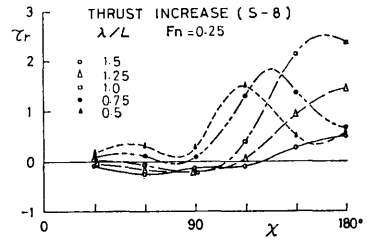


Fig. 17 Mean thrust increase versus heading angle for the single screw ship

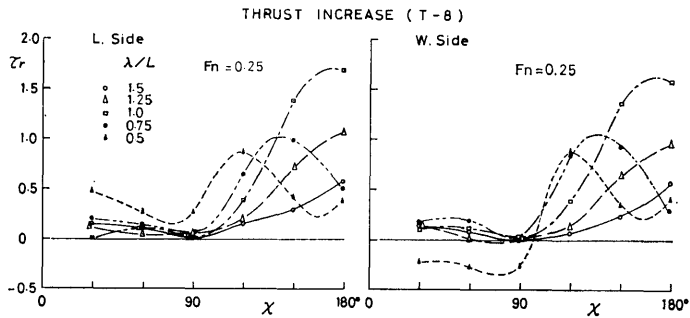


Fig. 18 Mean thrust increase versus heading angle for the twin screw ship

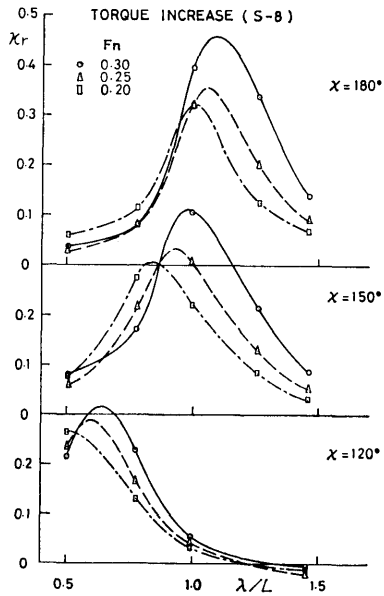


Fig. 19 Mean torque increase for the single screw ship

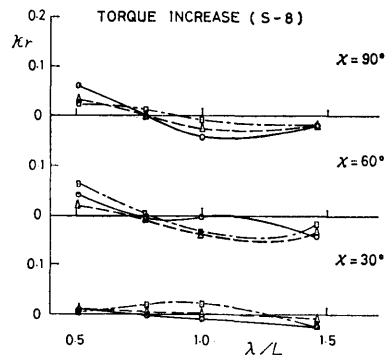


Fig. 20 Mean torque increase for the single screw ship

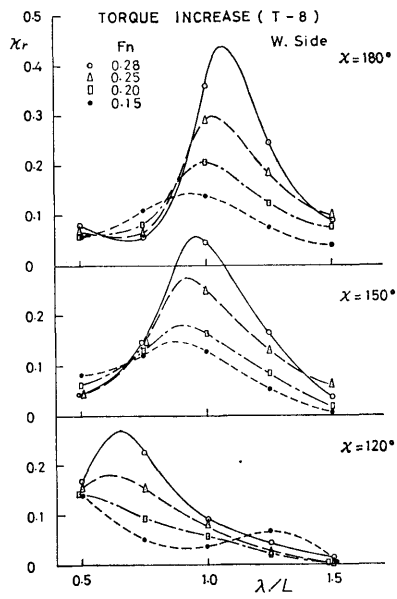


Fig. 21 Mean torque increase for the propeller at weather side of the twin screw ship

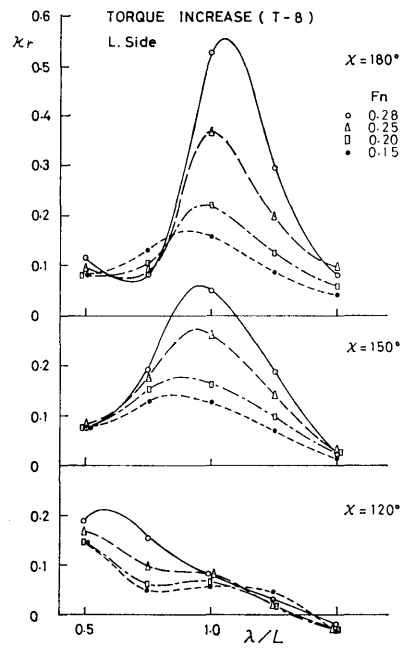


Fig. 23 Mean torque increase for the propeller at lee side of the twin screw ship

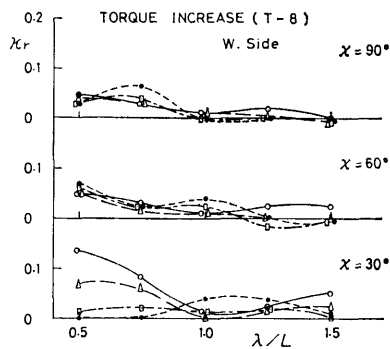


Fig. 22 Mean torque increase for the propeller at weather side of the twin screw ship

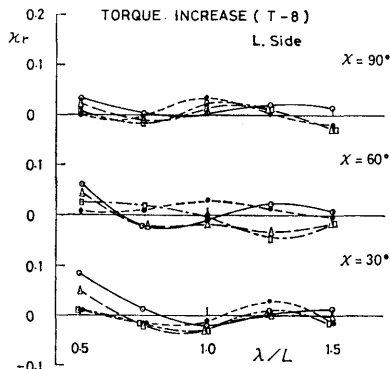


Fig. 24 Mean torque increase for the propeller at lee side of the twin screw ship

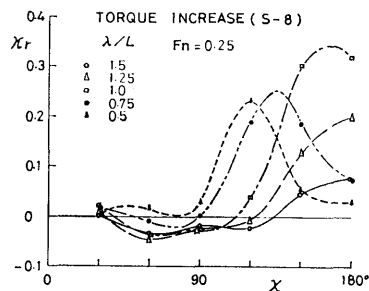
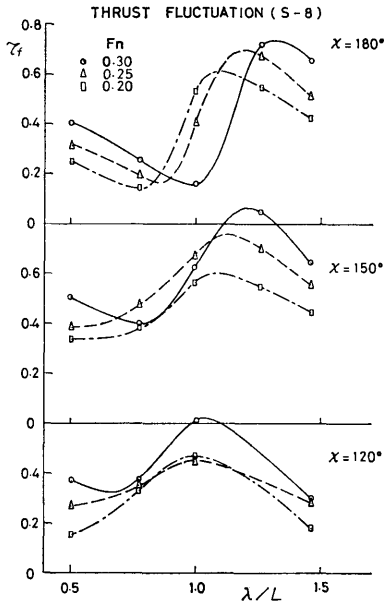
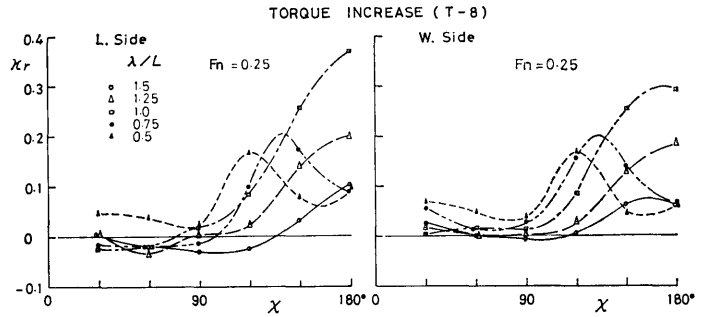
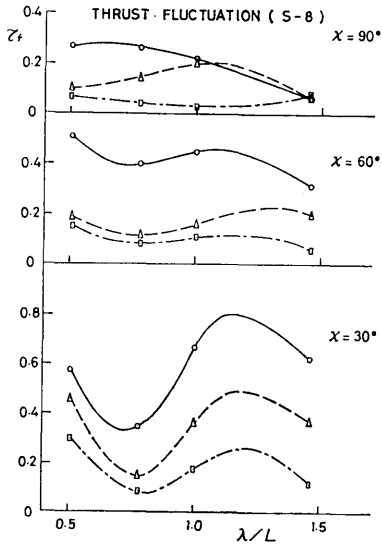


Fig. 25 Mean torque increase versus heading angle for the single screw ship

**Fig. 26** Mean torque increase versus heading angle for the twin screw ship

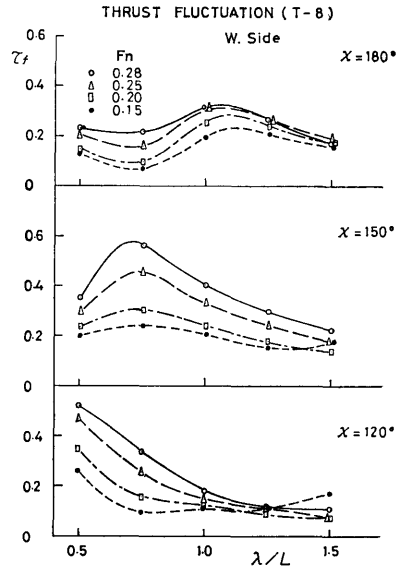


**Fig. 27** Amplitude of thrust fluctuation for single screw ship

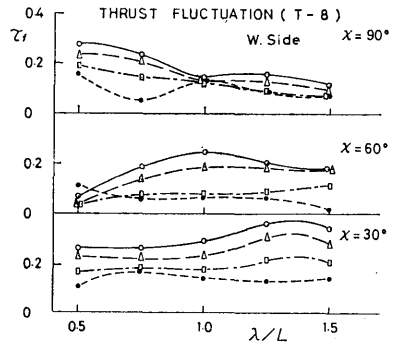


**Fig. 28** Amplitude of thrust fluctuation for single screw ship

(228)



**Fig. 29** Amplitude of thrust fluctuation for the propeller at weather side of the twin screw ship



**Fig. 30** Amplitude of thrust fluctuation for the propeller at weather side of the twin screw ship

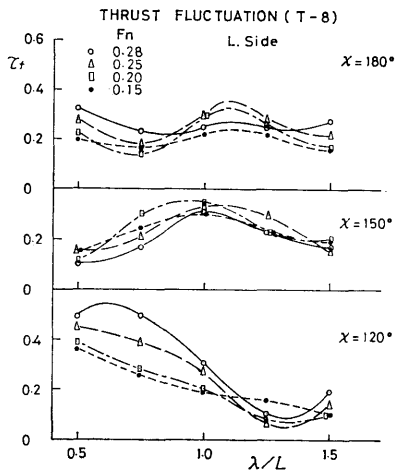


Fig. 31 Amplitude of thrust fluctuation for the propeller at lee side of the twin screw ship

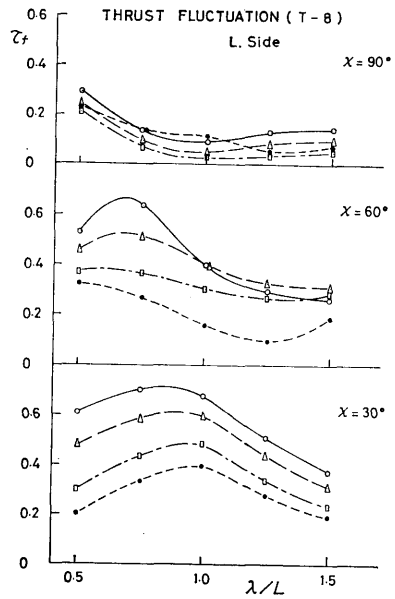


Fig. 32 Amplitude of thrust fluctuation for the propeller at lee side of the twin screw ship

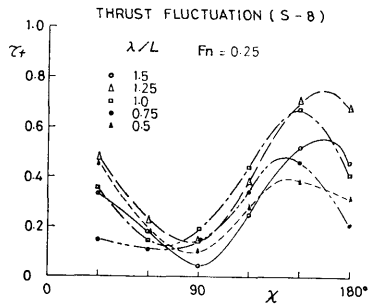


Fig. 33 Thrust fluctuation versus heading angle for the single screw ship

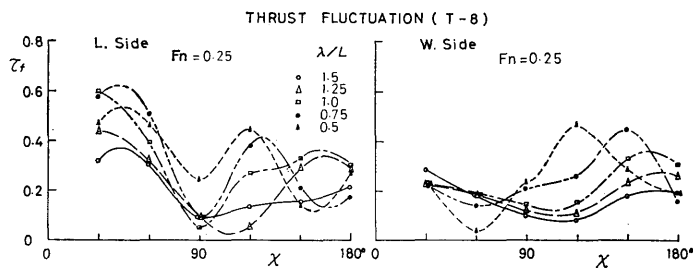


Fig. 34 Thrust fluctuation versus heading angle for the twin screw ship

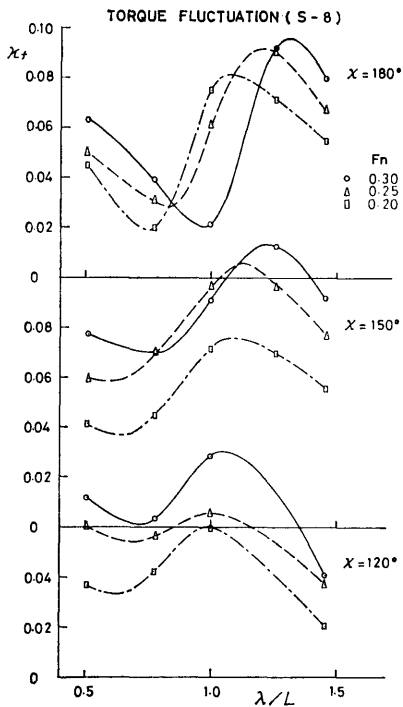


Fig. 35 Amplitude of torque fluctuation for single screw ship

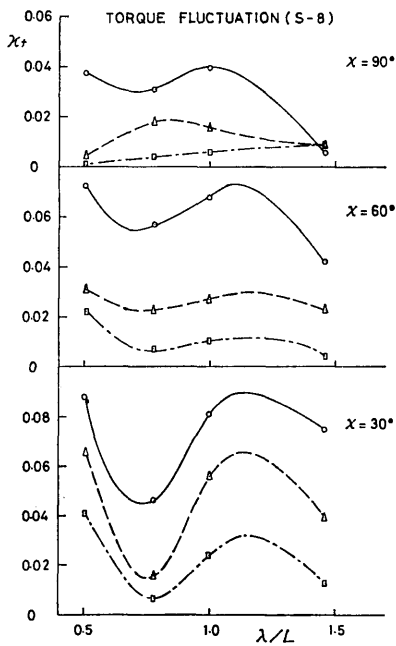


Fig. 36 Amplitude of torque fluctuation for single screw ship

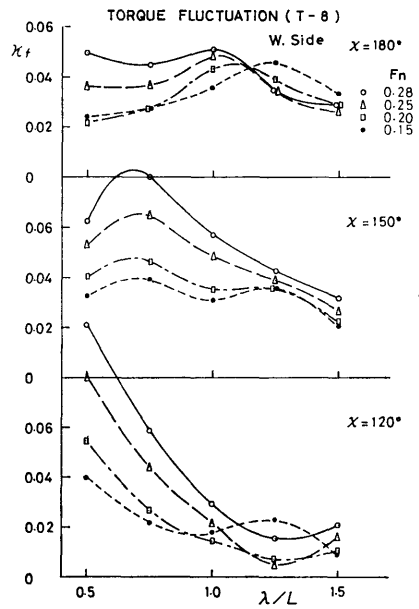


Fig. 37 Amplitude of torque fluctuation for the propeller at weather side of the twin screw ship

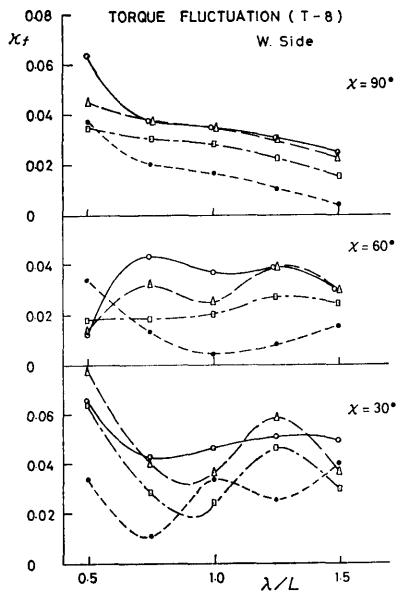


Fig. 38 Amplitude of torque fluctuation for the propeller at weather side of the twin screw ship

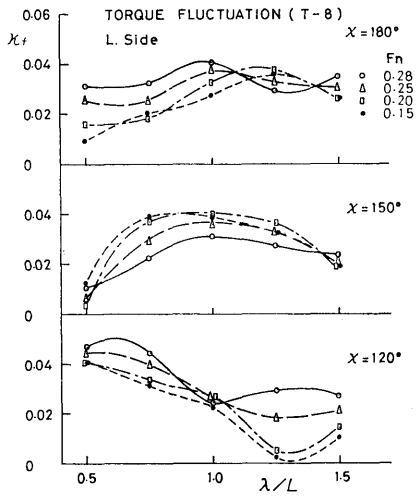


Fig. 39 Amplitude of torque fluctuation for the propeller at lee side of the twin screw ship

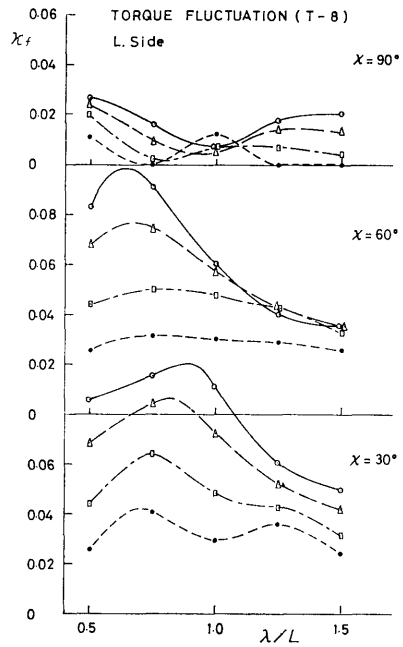


Fig. 40 Amplitude of torque fluctuation for the propeller at lee side of the twin screw ship

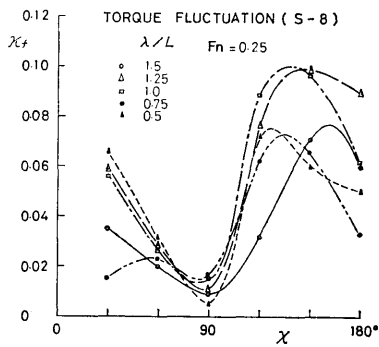


Fig. 41 Torque fluctuation versus heading angle for the single screw ship

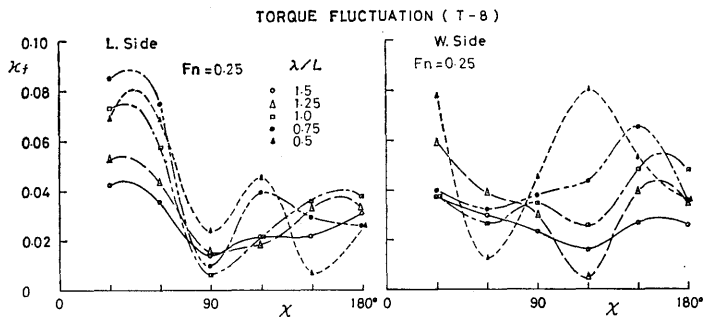


Fig. 42 Torque fluctuation versus heading angle for the twin screw ship

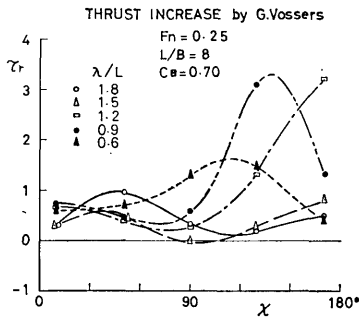


Fig. 43 Mean thrust increase for the single screw ship (by G. Vossers)

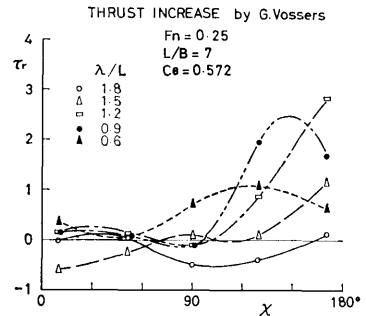


Fig. 45 Mean thrust increase for the single screw ship (by G. Vossers)

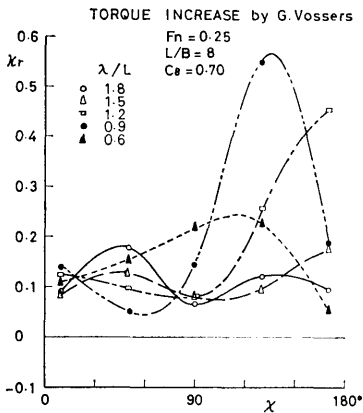


Fig. 44 Mean torque increase for the single screw ship (by G. Vossers)

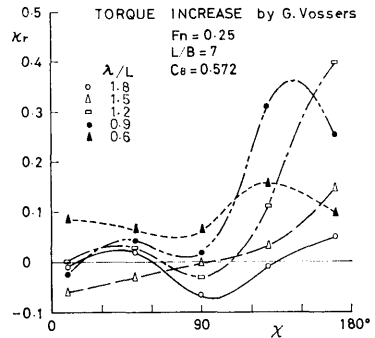


Fig. 46 Mean torque increase for the single screw ship (by G. Vossers)

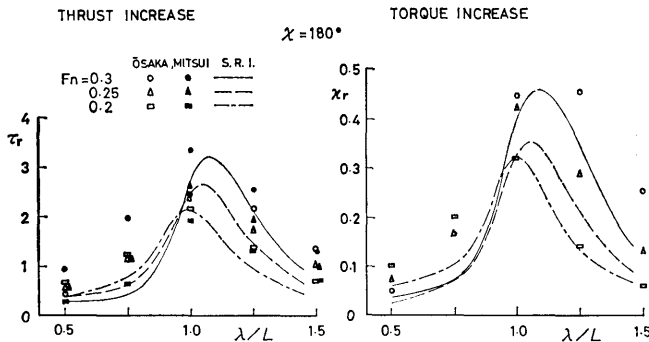


Fig. 47 Comparison of thrust and torque increase with other laboratories