

返却用

社 团 法 人

# 日本造船研究協会報告

第 42 号

昭 和 39 年 6 月

---

系統的模型によるサイド・スラスターに関する研究 ..... 第59研究部会

Investigation into the Fundamental Characteristics  
and Operating Performances of Side Thruster

..... The 59 Research Committee

---

The Report

of the

Shipbuilding Research Association

of Japan

Tokyo, Japan

NO. 42

June 1964



第59研究部会委員名簿

主 営	谷 口 中		
幹 事	葛 西 宏 道	渡 辺 恭 二	
委 員	赤 津 誠 章	浅 野 修 一	宇 川 毅
	岡 田 正 次 郎	笠 原 讓	片 山 信
	神 谷 茂	久 米 孝 男	佐 々 木 民 部
	白 倉 昌 明	杉 野 茂	関 一 之
	高 木 淳	高 橋 高 藏	宝 田 直 之 助
	竹 中 重 外 志	田 中 兵 衛	玉 木 一 三
	藤 井 斎	船 橋 敬 三	松 岡 史 香
	元 良 誠 三	矢 崎 敦 生	渡 辺 四 郎

Membership of the 59 th Research Committee

Chairman	Kaname TANIGUCHI		
Secretaries	Hironao KASAI	Kyoji WATANABE	
Members	Seisyo AKATSU	Syuiti ASANO	Tuyoshi UKAWA
	Syojiro OKADA	Yuzuru KASAHARA	Makoto KATAYAMA
	Shigeru KAMIYA	Takao KUME	Minbu SASAKI
	Masaaki SHIRAKURA	Shigeru SUGINO	Kazuyuki SEKI
	Jun TAKAGI	Takazo TAKAHASHI	Naonosuke TAKARADA
	Shigetoshi TAKENAKA	Hyoe TANAKA	Ichizo TAMAKI
	Hitoshi FUJII	Keizo FUNABASHI	Fumika MATSUOKA
	Seizo MOTORA	Atsuo YAZAKI	Shiro WATANABE

# 系統的模型によるサイド・スラスターに関する研究

Investigation into the Fundamental Characteristics and  
Operating Performances of Side Thrusters

## 1. Introduction.

The fundamental characteristics and operating performances of side thrusters were investigated putting emphasis on the following items, in order to obtain the basic data for the design and production of excellent side thrusters.

Namely;

- (a) The effects of the principal particulars and the shapes of impeller on the characteristics of side thrusters
- (b) The necessary capacity of the side thruster for the typical manoeuvring

For this purpose, the following three kinds of researches were conducted:

- (a) The systematic series tests of the impeller and the duct system
- (b) The tests on the operating performances of side thrusters
- (c) The theoretical investigations

Where, the model experiments were conducted at the Experimental Tank of Mitsubishi Shipbuilding and Engineering Co. Ltd., and the theoretical investigations were made by the four members of the committee.

## 2. The systematic series tests of the impeller and the duct system.

The impeller models were tested in the duct installed in a simplified ship hull and the effects of the principal particulars and the shape of the impeller were examined as well as the effects of duct systems. The thrust and the torque of the impeller and the reaction on the hull were measured.

The illustrations of the test instruments and impellers are given in Fig. 2.1~2.7 and Fig. 2.8~2.16 respectively.

### 2.1 The tests of the duct system.

The experimental researches were performed on the effects of duct systems such as the depth of the bottom under the duct, the duct length, the corner radius of duct, the tip clearance between the duct and the impeller and the shape of the inner side of duct.

The effects of the guide vanes and guard grids and the effects of the inclination of the side wall of hull were also examined.

Results are given in Fig. 2.17~Fig. 2.33.

## 2.2 The series tests of impellers.

The six impeller models were investigated in the standard duct under the 100% slip ratio condition. The one was the fixed blade type of pitch ratio 0.75 with bi-symmetrical (lens-like) blade sections and smaller boss ratio. This was chosen as a basis of the series and was also used for the investigation of the effects of the boss ratio by changing it from 0.3 to 0.6.

The five impellers were the controllable pitch types with the constant pitch distribution along the radius at zero pitch angle and with larger boss ratio. At first the effects of the blade contour were examined between the ordinary type and Kaplan type.

Then the tests on the effects of the blade area ratio and number of blades were carried out using the Kaplan type impellers.

The pitch ratio was changed from 0.3 to 1.3 in the tests of controllable pitch types.

The results are given in Fig. 2.34~2.42.

## 3. The tests on the operating performances of side thrusters.

The operating performances were investigated by use of the three typical ship models installed with a side thruster model per each. These were the 6 meter models of a super tanker, a high speed liner and a cable layer. The illustrations of the ship models and the side thruster with a thrust measuring device are given in Fig. 3.1~3.9.

### 3.1 Measurements of the lateral thrust under the captive conditions.

The lateral thrust was measured by the captive arms fitted with strain gauges in the following conditions, while the ship model was stationary or advanced slowly with the rudder amidships.

- (a) Lateral bow thrusting in open water condition at  $V=0$
- (b) Lateral bow thrusting near the wall in shallow water condition at  $V=0$
- (c) Lateral bow thrusting in open water condition with small advance speed on a captive straight course.

### 3.2 Course changing ability and initial turning tests.

In free running condition, the course changing ability of the side thruster was examined and the initial turning motion of models with and without the helm of rudder was investigated by photographing the locus of the model on the basis of time.

### 3.3 Manoeuvring tests.

Manoeuvring trials were conducted with the free running models from the view point of piloting, and the effectiveness of the installation of the side thruster was manifested for the following cases

- (a) Tests for going alongside and clearing a pier
- (b) Narrow channel manoeuvre

### 3.4 Resistance tests of ship models with duct openings.

The effects of the duct opening and its fairing on the resistance of ship were investigated

by the use of the models mentioned above.

The results of the tests are given in Fig. 3.10~3.68.

#### 4. Theoretical investigations.

Apart from the model experiments, the theoretical approaches were made on the fundamental characteristics of side thrusters and their effects on ship motions by the four members of the committee. The details of these works are given in the Appendix.

- 4.1 Fundamental characteristics of the bow thruster units (by Prof. M. Shirakura)
- 4.2 The effects of the bow thruster on the motion of ships (by Prof. S. Motora)
- 4.3 The ship motion under the operation of the bow thruster (by Dr. H. Fujii)
- 4.4 The oblique motion of ships with the use of bow thrusters (by Dr. S. Okada)

## 目 次

1. 緒 言	( 1 )
1.1 研究の目的	( 1 )
1.2 研究の内容	( 1 )
1.2.1 単独性能試験	( 1 )
1.2.2 総合性能試験	( 2 )
1.2.3 理論研究	( 3 )
2. 単独性能試験	( 4 )
2.1 単独性能試験の方法	( 4 )
2.2 単独性能試験用装置	( 6 )
2.3 単独性能試験結果ならびに検討	( 6 )
2.3.1 Duct 関係影響調査	( 6 )
2.3.2 Impeller 系統試験	( 9 )
3. 総合性能試験	( 10 )
3.1 総合性能試験の方法	( 10 )
3.2 総合性能試験装置	( 11 )
3.3 総合性能試験結果ならびに検討	( 12 )
3.3.1 拘束状態における横力計測	( 12 )
3.3.2 初期旋回ならびに針路変更試験	( 15 )
3.3.3 操船試験	( 17 )
3.3.4 直進抵抗試験	( 18 )
4. 結 論	( 19 )
4.1 Duct 形状に関する試験	( 19 )
4.2 Impeller に関する系統試験	( 20 )
4.3 拘束模型船による横力計測	( 20 )
4.4 操船試験	( 20 )
4.5 直進抵抗試験	( 21 )
4.6 理論計算	( 21 )
5. 結 言	( 21 )
付 図	( 22 )
Appendix : Side Thruster の理論研究	( 58 )

# 「系統的模型によるサイド・スラスターに関する研究」

## 1. 緒 言

### 1.1 研究の目的

船舶の自動化の一環として最近 Side Thruster の装備が問題となってきたが、性能良好な Side Thruster を設計するための資料はもちろん、適当な Side Thruster の容量を見当づけるための資料も現状では皆無に近い。

このため、これらの諸問題について基礎的な実験研究を行ない、必要な容量に対する性能良好な Side Thruster の設計および製作を行なうための基礎、すなわち

- a. Side Thruster Impeller の各部の大きさや形状と性能との関係
- b. 必要な Side Thruster の容量

などについて資料をうるのが本試験研究の目的である。

### 1.2 研究内容

本研究は単独性能試験、総合性能試験および理論研究の三つに大別される。

#### 1.2.1 単独性能試験

Side Thruster 付船舶の水平面以下の船体部分に相当する単純化された Duct 模型につき、以下にのべる各種の影響調査および系統試験を行なうものである。

##### (a) Duct 関係影響調査

###### (i) Bottom Immersion の影響調査

Side Thruster Impeller の水平軸の中心からキールまでの距離の影響を調べる。

###### (ii) Duct Length の影響調査

Side Thruster Impeller が内部で回転作動するトンネル部の長さの影響を調べる。

###### (iii) Duct Entrance 形状の影響調査

Side Thruster Duct 両端部縁の丸みの大きさの影響を調べる。

###### (iv) Tip Clearance の影響調査

Impeller の翼端と Duct 内壁面との Clearance の大きさの影響を調べる。

###### (v) 変形 Duct の影響調査

標準型の Duct (単純円筒状) に対し Duct の横断面積を両端に向って広げた場合 およびせばめた場合の影響を調べる。

###### (vi) Guide Vane の影響調査

Impeller Boss と Duct とを相対的にささえる役目をする Guide Vane につき、その数および Aspect 比の影響を調べる。

###### (vii) Grid の影響調査

Duct Entrance 部において流木その他の異物が Duct 内へ流入するのを防ぐために設けられる格子につきその数および Aspect 比の影響を調べる。

### (viii) 傾斜壁の影響調査

標準型としてもちいた直立壁面を有する Duct にくらべて実際の船体をよりよくあらわすと思われる傾斜壁面付 Duct についてその影響を調べる。

#### (b) Impeller 系統試験

##### (i) 翼輪郭の影響

普通型の翼輪郭を有する可変 Pitch Impeller および Kaplan 型翼輪郭を有する可変 Pitch Impeller (いずれも翼数4) を標準型 Duct の中で試験する もので系統的に翼の取付角度を変更する。

##### (ii) 固定 Pitch Impeller 試験

一体型として鋳造、加工した固定 Pitch Impeller (翼数4) を標準型 Duct の中で試験する。

##### (iii) 翼面積比系統 Impeller 試験

普通型と Kaplan 型との可変 Pitct 系統試験の結果にもとづき、いずれか性能の良い方の翼輪郭について翼面積比を変化させた Impeller を製作して、可変 Pitch 系統試験を追加する。(Kaplan 型翼輪郭を採用した)

##### (iv) 3翼 Impeller 試験

普通型と Kaplan 型とのうち性能の良い方の翼輪郭 Impeller の翼を 3枚とて 3翼用 Boss にとりつけ、可変 Pitch 系統試験を行なう。

##### (v) ボス比の影響

固定 Pitch Impeller においてボス比を 0.3~0.60 に変更しボス比の影響を調べる。

#### 1.2.2 総合性能試験

Super Tanker 高速 Liner および Cable Layer の 3隻の 6 m 模型船の船首部に適当な大きさの 模型 Side Thruster を装備し下記のような試験を行なう。

#### (a) 拘束状態における横力計測 (舵中央)

模型船の横方向の動きを船体中心線上の 2点で拘束し、Side Thruster の作動により 船体にかかる力を計測する。

##### (i) 開水状態における船首横押し

Side Thruster 取付位置変更の影響調査を含む。

##### (ii) 岸壁近傍における船首横押し

岸壁からの距離および水深の変化の影響を調査する。

##### (iii) 微速直進状態における船首横押し

#### (b) 針路変更ならびに初期旋回試験

##### (i) 針路変更試験

1 ~10kn の低速で前進中に Side Thruster を作動させ、Side Thruster の回転数と転針の関係を調査する。

##### (ii) 初期旋回試験

低速で直進中、Side Thruster、舵またはこれらのへいようにより模型船を回頭させ、初期旋回の様子を比較する。

### (c) 操船試験

無拘束の模型船をプロペラ、舵およびSide Thrusterにより自由に操船し操船時のSide Thrusterの効果につき総合的な調査を行なう。本試験は実船の操船に適した操船方法をとる必要があるので熟練した実船操船者に立会ってもらい、その意見を取り入れて試験方法を決定することとする。

#### (i) 離接岸試験

Side Thruster、およびプロペラを操作して数種の方法で離接岸を行ない、Side Thrusterの効果を調査する。

#### (ii) 狹水路航行試験

Side Thrusterの作動により、舵のみでは通過困難な屈折した狭水路の航行を試みる。

#### (d) 船体直進抵抗試験

Ductをうがった船体の直進抵抗試験を行なって出口形状その他が直進抵抗におよぼす影響を調査する。

### 1.2.3 理論研究

上記の単独性能試験および総合性能試験のほかに下記の理論研究が行なわれた。これらの研究はとりまとめのべんき上、本報告には概要のみを記し、報告全文は Appendixとして巻末に添付した。

#### (a) Side Thruster の一般性能 (東京大学工学部機械工学科 白倉委員)

Ductの性能およびImpeller性能を求める理論を導き Side Thruster 単独性能の模型試験の2、3例について理論計算を行ない、実験結果との比較を行なっている。理論計算において仮定する損失などを実験結果から逆算して求めた結果は単純な Duct 形状については一般の実験値ともよく合う結果が得られている。

Duct 各部の変形の影響について本理論により解析整理を行なえば応用範囲の広い資料が得られると考える。

#### (b) Side Thruster が運動性能におよぼす影響 (東京大学工学部船舶工学科 元良委員)

Side Thruster は停止時には有効であるが前進速度がますと急激にその効果が減少するといわれている。この原因としては Side Thruster の推力が船体の前進速度、Drift および回転によって変化すること、ならびに船の旋回運動自体の性質として前進速度とともに旋回性が低下することが考えられる。これはこのうち後者の影響を明らかにする目的で船首に一定の力を横向きに作用させた時の旋回運動を計算したものである。この結果、旋回角速度は Side Thruster の推力に比例し、また Side Thruster 位置と横方向推力の着力点との前後方向位置によっては逆方向に旋回する可能性もあることが判明した。また前進速度が大となるにつれて急激に Side Thruster の有効性が減ずることが船の旋回性能の立場から理論的に証明された。

#### (c) Side Thruster を作動したときの船体運動について (新三菱重工業株式会社研究部 藤井委員)

Side Thruster による船体運動の研究のうち、微速前進中に舵およびSide Thruster を作動させた時の旋回運動について線型性の仮定のもとに理論的検討を行なったものである。この結果舵のみを作動させた時 Side Thruster のみを作動させた時および両者をへいようした場合の回頭状態が明らかにされ、またある前進速度における舵角と当量な Side Thruster 推力も見当づけられた。

また、ある低速域を境として横方向 Thruster が減少する様相がここでも明瞭に示された。

(d) Side Thruster による船の斜行運動について (日立造船株式会社技術研究所 岡田委員)

接岸時においては、船を回頭させずに横方向に移動させるのがもっとも理想的であるが、Side Thruster を装備した船においても垂直な横動きは不可能である。次に考えられるのは船体中心線を岸壁に平行のままで船を大角度で斜行させる方法である。本論文では Side Thruster を装備した船の斜行性能について考察を行なったもので船体および舵角がきまれば斜行角は決定し、Side Thruster の推力によりかえることができないという結論を得た。貨物船の一例で計算した結果は  $35^\circ$  の舵角で斜行角はわずか  $10^\circ$  程度である。

## 2. 単独性能試験

### 2.1 単独性能試験の方法

Thruster の Impeller 模型 6 個を製作し、これを Thruster Duct 内で作動させ、この時の Duct の Axial Force および Impeller の Axial Thrust および Torque を計測し、Impeller と Duct との種々の組合せに対する性能を比較して所要静推力が与えられた場合、最適の Side Thruster Impeller および Duct の設計を可能ならしめる資料を求める目的とした。

試験は三菱造船株式会社研究部船型試験場の小水槽の設備を利用し Impeller の Thrust および Torque の計測には小水槽用単独推進器動力計を使用した。また Duct Force の計測を行なうためには新しい Dynamometer を設計製作した。試験はすべてスリップ 100% の状態で行なった。

試験に使用した模型 Impeller は下記の 6 個である。

これらの Impeller の図面を Fig. 2.1~2.5 に、またボス形状を Fig. 2.6、2.7 に示す。

なお P. No. 1308-B は P. No. 1308 と全く同一の翼を使用した 3 翼 Impeller であるので翼の図面は省略した。ボスの長さは全部共通で  $1.5D$  である。

標準型の Duct は直方体の箱に、面に直角な円筒形の穴をあけたもので、穴の位置は水面下  $1.25D$

P. No.	1309	1307	1308	1322	1323	1308-B
D(mm)			200			
P/D	0.750			0~1.3 調整可能		
d/D	0.300			0.400		
Ae/Ad	0.5246		0.450	0.300	0.600	0.3375
翼輪郭	普通型			カープラン型		
翼断面	梢円			Aerofoil (一軸対称)		
翼数		4			3	
Rake, Skew			0			

(D は Impeller 直径で 200mm)、穴の中心から箱の底までの深さは、3 D、穴の長さは 2 D、壁面の巾は穴の中心より左右へそれぞれ 3 D である。穴の直径は 203mm すなわち Tip Clearance は 1.5mm である。また Duct の端部には 10.0mm の r をつけた。

Impeller の系統試験はすべてこの標準型の Duct を使用して試験しており、各種の Duct 変更試験においても変更した要目以外の要目はすべて標準型 Duct に合わせて試験を行なった。

試験を行なった Impeller 回転数は基礎的な試験内容のものについては回転数を低回転より試験可能な範囲内で高い回転数まで変化して比較試験を行なったが毎秒10回転以上の回転数では無次元で表わした結果にほとんど差のないことがたしかめられたので  $n=15\sim20$ rps の試験結果を採用した。計測項目、符号およびこれらの無次元表示は下記のとおりである。

	符 号	無次元係数
Impeller 推力	$T(\text{kg})$	$C_T = T/\rho n^2 D^4$
Duct 推力	$F(\text{kg})$	$C_F = F/\rho n^2 D^4$
Impeller トルク	$Q(\text{kg}\cdot\text{m})$	$C_Q = Q/\rho n^2 D^5$
合 成 推 力	$T+F(\text{kg})$	$C_{TF} = T+F/\rho n^2 D^4$
Impeller 直径	$D(\text{m})$	
Impeller 回転数	$n(1/\text{s})$	
水 の 密 度	$\rho = 10197 \text{ kg m}^{-3}$	
効率の表現法としては		$\eta = \frac{(C_{TF}/\pi)^{3/2}}{C_Q}$

を使用した。この表現によれば  $D$  が一定の場合、一定の DHP に対し  $\eta$  が大きいほど  $(T+F)$  が大きくなる。すなわち一種の効率をあらわすものである。

Side Thruster がスリップ 100% で働いているとき有効な出力はないので厳密には効率を求めることができないが、Side Thruster を Duct 内に水流を発生する機械と考えれば、発生した水流を出力と考えて効率を考えることができる。

水流を発生するための効率は流量に (圧力 × 面積) をかけたものであり、近似的に流量は  $\sqrt{T+F/\rho A}$  圧力 × 面積は  $T$  とみることができるから効率は  $\frac{T \times \sqrt{T+F/\rho A}}{75 \text{ SHP}}$  である。

$T$  および  $T+F$  をへいようするのは繁雑があるので  $T$  のかわりに  $T+F$  と置き変形したものが前記の  $\frac{C_{TF}^{3/2}}{\pi^{3/2} C_Q}$  と考えることもできる。

Impeller を一定として Duct の変形を行ない、優劣を比較する試験においてはこの係数を比較の基準とすることができます。

ただし、具体的な Side Thruster の設計にあたり、回転数が自由にえらべない場合には、この係数をもって、そのまま優劣の比較を行なうことはできない。

## 2.2 単独性能試験用装置

Fig. 2.8 に配置を示す。

まず Impeller がその中で回転、作動すべき円筒、すなわち Duct を有する箱型①が Impeller の軸方向に微少移動を許すようとりつけられた可動腕②によって垂下さえられている。一方単独推進器動力計の軸端にとりつけられた Impeller は①の Duct の中心にあり、Impeller の横振動を避けるために延

長 Impeller 軸が水中軸受③によってささえられている。④が回転を開始し Duct 中を流れる水流が形成されると①の箱型表面におこる圧力変化によって①は軸方向いすれかの方向へ力を受ける。この力は曳引棒⑦をかいして抵抗動力計⑥で計測記録される。

一方 Impeller に生ずる軸方向力およびトルクは単独推進器動力計⑤によって計測され Impeller 回転数も同時に計数される。

(a) Duct 模型

(i) Duct 付箱型（直立壁）

Fig. 2.9 に示すように船体水線面下部分の単純モデルとみなされる箱型を構成、これに Side Thruster Impeller を挿入、作動せしめるような Duct を貫通させる。

Duct の長さ、箱型の深さおよび Duct 内面形状出口端形状は影響調査に際して種々変更する。

(ii) Duct 付箱型（傾斜壁）

Fig. 2.9 に示した箱型よりもさらに船体水線面下部分形状に近い型として Fig. 2.10 に示すような傾斜壁 Duct 箱型を使用、側面傾斜の影響を調べる。

(b) Impeller 模型

(i) 可変 Pitch Impeller

4翼用 Boss 構造および可変 Pitch Impeller 4個の翼輪郭を Fig. 2.6 に示す。

(ii) 固定 Pitch Impeller

Fig. 2.7 に Boss 構造および翼輪郭を示す。

(c) Guide Vane および Grid

Fig. 2.11 にこれらの装備状況を示す。

## 2.3 単性能試験結果ならびに検討

### 2.3.1 Duct 関係影響調査

(a) Bottom Immersion ;  $l_b$  の影響調査

Fig. 2.12 に示すように Impeller Center の Immersion を一定(250mm)に保った状態のまま Duct Block の Bottom Immersion ;  $l_b$  を 1D、2D、3D と変更しこれが計測される Impeller Thrust, Torque および Duct Block の Axial Force におよぼす影響を調べたものである。

試験条件は下記のとおり

使用 Impeller ; P. No. 1307 ( $P_{0.7}=0.750$  に固定して使用)

$$I=250\text{mm} (I/D=1.25)$$

$$l_d=400\text{mm}(2D)$$

$$l_b=200, 400, 600\text{mm}(1D, 2D, 3D)$$

$$l_s=600\text{mm} (\text{Duct 軸に垂直な水平方向の半巾})$$

$$\delta=1.5\text{mm}, R=10\text{mm}$$

試験結果を Fig. 2.17～2.19 に示す。

Fig. 2.17 は Bottom Immersion を一定 ( $l_b=3D$ ) のまま Impeller の回転数をかえて試験を行なった結果であるが、この結果  $n$ (インペラーリ回転数 r.p.s)=10以上では回転数の相違の影響はほとんどないものと見られるので以後の試験では  $n=15, 20$  の 2 種程度の回転数で試験を行なうこととした。

Fig. 2. 18、2. 19 は Bottom Immersion による  $C_T$ 、 $C_Q$ 、 $C_F$  の変化であるが、 $l_b=1.0 \sim 3.0D$  の間では各係数ともほとんど差が見られない。さらに  $l_b$  の小さい値の所で急激に変化するものと思われる。

#### (b) Duct Length ; $l_d$ の影響

単純円筒状 Duct (内径 203mm  $\phi$ 、出入口端  $R=10\text{mm}$ 、Tip Clearance  $\delta=1.5\text{mm}$ ) をもちい、長さ  $l_d$  のみを 1 D、2 D、3 D と変更して、計測される Impeller Thrust, Torque および Duct Axial Force における影響を調べたものである。行なった試験は下記のごとくである。

使用 Impeller ; P. No. 1307 ( $P_{0.7}=0.750$  に固定して使用)

$$I=250\text{mm} (I/D=1.25)$$

$$l_b=600\text{mm} (3D)$$

$$l_s=600\text{mm} (3D)$$

$$l_d=200\text{mm}, 400\text{mm}, 600\text{mm} (1D, 2D, 3D)$$

$$\delta=1.5\text{mm}, R=10\text{mm}$$

試験結果を Fig. 2. 20～2. 21 に示す。

この結果をみると  $C_T$  は Duct Length にほとんど無関係であり、 $C_Q$ 、 $C_F$  はともに  $l_d < 2D$  ではほぼ一定で、これより短い Duct では  $C_Q$ 、 $C_F$  ともに増加している。 $\eta$  の値でみると  $l_d < 2D$  ではほぼ一定、 $l_d > 2D$  で Duct が長くなるほど徐々に  $\eta$  が低下する傾向になっている。これは Duct 内の摩擦損失によるものと考えられる。

#### (c) Duct 両端部 R の影響調査

Duct 両端部形状は総合的には船体抵抗および横方向 Thrusting の効率をかんあんして決定されるべきものであるが、ここではまず両端部縁の  $R$  が測定値にどのような影響をおよぼすかを知るために 3 種類の  $R$  について Impeller Thrust, Torque および Duct Axial Force を測定したものである。

試験条件は下記のとおりである。

使用 Impeller ; P. No. 1307 ( $P_{0.7}=0.750$  に固定して使用)

$$I=250\text{mm} (I/D=1.25)$$

$$l_d=400\text{mm} (2D)$$

$$l_b=600\text{mm} (3D)$$

$$l_s=600\text{mm} (3D)$$

$$\delta=1.5\text{mm}$$

$$R=0, 10, 40(0, D/20, D/5)$$

試験結果を Fig. 2. 22～2. 23 に示す。

この結果、 $R=0$  すなわち直角な角となっているものでは  $C_F$  が著しく小さな値となり  $\eta$  もまた小さな値となっているが、これはあきらかに Duct 入口における流れがはく離して損失となっているものと考えられる。

なお  $R/D=1/20 \sim 1/5$  においても  $R$  が大きいほど  $C_F$  が大きくまた、 $C_Q$ 、 $C_T$  は小さくなる傾向が見られるが、 $\eta$  においてはほとんど差が見られず  $R/D=1/20$  程度ですでにはく離による損失はないものと思われる。

#### (d) Tip Clearance ; $\delta$ の影響調査

Duct 内壁と Impeller Tip との Clearance ;  $\delta$  を 4 段階にわけて変更し計測される Impeller Torque および Duct Axial Force におよぼす影響を調べたものである。試験条件は下記のとおりである。

使用 Impeller ; P. No. 1307 (P<sub>0.7</sub>=0.750 に固定して使用)

$$I=250\text{mm}(I/D=1.25)$$

$$l_d=400\text{mm}(2D)$$

$$l_b=600\text{mm}(3D)$$

$$l_s=600\text{mm}(3D)$$

$$R=10\text{mm}$$

$$\delta=0.5, 1.5, 5.0, 10.0\text{mm}(D/400, D/133.3, D/40, D/20)$$

試験結果を Fig. 2. 24～2. 26 に示す。

Fig. 2. 24 の回転数の影響において、 $n=10\text{r.p.s}$  ではまだいくらか回転数の影響がでているが  $n=15 \sim 20\text{r.p.s}$  では  $C_T$ 、 $C_Q$ 、 $C_F$  ともに回転数にはほとんど無関係とみられる。Tip Clearance  $\delta$  変化の影響は Fig. 2. 25 にみられるように  $C_T$ 、 $C_Q$  はともに  $\delta$  の増大とともに同じ傾向で低下しており、 $C_F$  は  $\delta$  の増大とともに徐々に低下している。 $C_T$ 、 $C_Q$  はこの範囲の資料では  $\delta$  の増大とともに一定値に近づくように見えるが  $\delta=\infty$  では Fig. 2. 17 の Open Water 中の値に示されるように  $C_T \approx 0.233$ 、 $C_Q \approx 0.0342$  になるべきものである。 $C_F$  は  $\delta=\infty$  であろうから  $\delta$  の増大とともに単調に低下するものであろう。

#### (e) Duct 形状の影響

標準型 Duct は単純な円筒型 Duct の両端にはく離を防止する意味で半径10mm の丸みをつけたものであるが、Duct の断面積を長さにそってかえた場合の影響をみるために下記の 2 種の変型 Duct の試験を行なった。

凹形 Duct…標準 Duct は Duct 形状は単純円筒であるが中心部には大きな Boss があるため流路断面積では両端で大きくなる傾向になっているので両端をしぼった Duct で流路断面積が一定となるようにしたのが凹形 Duct である。Duct 形状を Fig. 2. 15 に、また寸法表を同図附表に示す。

凸形 Duct…凸形 Duct は凹形 Duct と逆に両端において断面積がひろがる形状としたもので、流路断面積がざんじ広がることによる静圧回復の影響をみると目的とした。Duct 形状を Fig. 2. 16 にまた寸法表を同図附表に示す。

この結果は Fig. 2. 27 に示すように  $C_T$ 、 $C_Q$  はともに凹型が一番大きく平行型、凸型の順に小さくなり流路の形状から推定される結果となっているが、 $C_T$  には明瞭な差がなく平行型がわずかに大きくなっている。

りでは明瞭に平行型が凹凸型より高く、凸型は著しく低い。

#### (f) Guide Vane の影響

Guide Vane は 2 本と 3 本の場合の比較を行ない、かつ翼数と Guide Vane の数の関係の影響を見るために 4 翼および 3 翼の Impeller について試験を行なった。使用した Impeller は可変 Pitch 型、普通型翼輪郭の P. 1307 (4 翼) およびおなじ Impeller の翼 3 枚を 3 翼用ポストにとりつけた P. 1307-B の 2 種である。

Guide Vane の断面形状は Fig. 2. 211 に示すとおりで Guide Vane 断面形状は長短軸の比が 3 : 1 の橿円であり長軸の長さは 2 本の場合が 60mm、3 本の場合は 40mm である。これにより側面投影面積の和および流路断面積は 2 本、3 本の場合につき同一となっている。Impeller 両側の Guide Vane 間の間隔は Guide Vane の内端間で 90mm で Impeller 位置はこの中心である。

試験結果を Fig. 2. 28、2. 29 に示す。これによれば上記の条件内では Guide Vane の本数の影響はほとんどないということができる。Guide Vane のない場合にくらべれば  $C_q$  の増加により  $\eta$  は低下する。

#### (g) Grid の影響

Fig. 2. 11 調査に示すような Grid の影響を調べたものであるが Grid の形状は Grid 断面の最大厚さにおける流路断面積一定、Grid 浸水面積一定、断面形状は 1 : 4 の橿円という条件で本数を 2、3、4、5 と変更して試験を行なった。

Grid は Duct 内径を上下に等分した位置にとりつけており、寸法は 2 本の場合を標準として 60mm × 15mm の橿円とし、3 ~ 5 本については流路断面積一定となるよう Fig. 2. 31 に記したように選定した。

Fig. 2. 30、2. 31 に試験結果を示すが、 $C_T$ 、 $C_q$  ともに本数の増加にしたがってわずかに減少する傾向を示しており、また  $C_F$  は本数の増加により明らかに減少の傾向を示しこれにしたがって  $\eta$  もまた本数の増加とともに減少している。

Grid のない場合と比較すると  $C_T$ 、 $C_q$  ともに増加し  $C_F$  は減少しているが  $C_{TF} = (C_T + C_F)$  はほとんど差がない。

#### (h) 傾斜壁の影響

前に記した各種の試験はすべて両端壁が垂直な場合につき試験を行なったが実際の船に装備する場合船壁は一般に傾斜しているのでその影響を調べたものである。

Duct 長さは中心線において  $2D$  とし底面の深さは Duct 中心から  $1.5D$  とし側面の傾斜のみを変化させた。

角度は両面が鉛直の場合 ( $90^\circ$ ) のほか  $75^\circ$ 、 $60^\circ$  の計 3 種を行なった。試験結果を Fig. 2. 32、2. 33 に示す。

$C_T$ 、 $C_q$  はほぼ一定で共通の傾向をもって変化しているが、 $C_F$  はわずかではあるが角度の減少とともに減少しこのため  $\eta$  は角度とともにあきらかに減少している。

### 2. 3. 2 Impeller 系統試験

#### (a) 翼輪郭の影響

翼輪郭の影響を調査するため  $A_e/A_d=0.450$ 、 $d/D=0.400$  を一定とし橿円形翼輪郭を採用した P. 1307 および Kaplan 型の翼輪郭を採用した P. 1308 の 2 種に対し、 $0.7R$  の半径における Pitch 比を 0.2 から 1.3 までえた系統試験を行なった。これらの結果を Fig. 2. 34、2. 35 にまとめて示す。

これらの結果は  $C_T$ 、 $C_q$ 、 $C_F$  の係数ではいずれも Kaplan 型の方が大きくでているがこれは Kaplan 型の方が同じ性能をだすために小さな直径の Impeller で良いことを示している。Fig. 2. 35 が示していることは直径を一定とし、Pitch 比および回転数が任意に選定できる場合には  $P_{0.7}=0.2 \sim 1.3$  の範囲では Pitch 比が大きいほど一定の馬力に対して推力が大きく、かつ  $P_{0.7}=1.0$  以上ではほ

とんど差がないこと、および同様の条件のもとでは Kaplan 型 Impeller の方が推力が大きいということである。

しかし一般の設計条件のように馬力および回転数が指定され直径が任意にえらべる場合には別な形式で比較を行なう必要がある。

これらの比較資料は Fig. 2.34 の値から計算することができる。

#### (b) 固定 Pitch Impeller 試験

Fig. 2.36 は固定 Pitch Impeller の試験結果である。固定 Pitch では Boss 比が一般に可変 Pitch よりも小さくできることを考慮して、ボス比を 0.30 と小さくした。回転方向は可逆となるため翼輪郭は左右対称、翼型は前後上下対称である。この固定 Pitch Impeller の方が Fig. 2.35 および 2.38 に示した可変 Pitch Impeller のいずれよりもりが大きいことは注目する必要がある。

#### (c) Impeller 面積比の影響

P. 1322 および P. 1323 は面積比の影響を調査するために面積比以外の要目を P. 1308 と全く同一とし P. 1308 の面積比  $A_e/Ad = 0.450$  に対しそれぞれ  $A_e/Ad = 0.300$  および 0.600 に変更したもので Pitch 比を 0.30～1.25 に変更した場合の上記 3 個の Impeller の性能の比較を Fig. 2.37、2.38 に示す。

Cavitation に対する考慮がいらない場合、面積比が小さい程効率が良いことは通常の Propeller と同一の傾向を示しているが  $A_e/Ad = 0.300$  と 0.450 ではほとんど差がなく  $A_e/Ad = 0.600$  では明瞭に効率の低下がみられる。

#### (d) 翼数の影響

Kaplan 型 4 枚翼の Impeller P. 1308 と同じ翼をもった 3 枚翼 Impeller P. 1308-B について標準 Duct 内で Pitch を変更した系統試験を行ない、翼数の影響の調査を行なった。この結果を Fig. 2.39、2.40 に示す。

#### (e) Boss 比の影響

Boss 比の影響を調査するため最も Boss 比の小さい P. 1309 (固定 Pitch 型) に対し Boss 比を 0.40、0.45 および 0.60 に変更した試験を標準 Duct 内で行なった。翼はそのままとしたので翼面積は Boss 比に応じて変化している。この結果を Fig. 2.41、2.42 に示す。

### 3. 総合性能試験

#### 3.1 総合性能試験

総合性能試験は模型船体に Side Thruster の模型をとりつけ実際に Side Thruster を作動させて模型船を拘束した状態で Side Thruster により船体に加わる力および Moment を計測し、または無拘束の模型船で推進器、舵および Side Thruster を作動させて模型船の運動を計測するものである。

なおこのほかに船体に Side Thruster 用の孔をあけたための直進抵抗の増加をも計測する。

使用した模型船は Super Tanker (M. 1379)、High Speed Liner (M. 1463)、および Cable Layer (M. 1512) の 3 隻ですべて  $L_{pp} = 6\text{ m}$  の木製模型船である。これらの模型船の正面線図および要目を Fig. 3.1、3.2、3.3 に示す。

Side Thruster 取付位置は船首に近いほど有利であるが取付位置の船の巾はある限度以上あることが必要であるので、過去の実例を検討した上、各船型ごとに取付位置を決定した。また取付位置の相違の

影響をみるため Liner 船型においては取付位置を後方へ移した試験を追加し、また Tanker 船型においては船尾に Side Thruster 用の孔をあけた船型に対し抵抗試験のみを追加した。これらの開孔の位置は Fig. 3. 4 に示すとおりである。

Side Thruster 模型は Impeller 直径90mm のもの一個を製作し、各模型船に共通に使用した。Impeller は普通型翼輪郭の可変 Pitch 型のものであるが模型は  $0.7R$  ピッチ比が 0.75 なるよう一体型で製作し推力の調整は Impeller 回転数により行なうこととした。計測項目は回転数および Impeller 推力でこれによってさきの単独性能試験結果と関連をつけることが可能である。

総合性能試験は模型船を拘束し船体にかかる力を計測する試験、無拘束で船の運動を計測する試験および抵抗試験に大別されるが拘束試験では船体中心線上 Side Thruster の中心の高さの位置において前後 2 点で模型船の横方向の動きをバネで拘束し、このバネにかかる力を電気抵抗線歪計により計測した。船体の前後方向には Side Thruster のみではほとんど力がかからないと推定されるので船体の前後の動きは拘束した。

無拘束試験では写真撮影により船体の運動の軌跡をとり Side Thruster の作動の変化を定性的に見ることを主眼とし、Impeller の回転数、推力、プロペラ回転数および操舵時間、舵角などを記録した。

水槽試験は三菱造船株式会社研究部船型試験場小水槽および特設水槽で行なった。特設水槽は浅水影響試験をより行なえるように本研究用に仮設したもので長さ 15.9m、巾 3.85m、最大水深 600 mm のものである。

### 3.2 総合性能試験装置

総合性能試験に使用した Side Thruster 模型は Impeller 直径90mm のものでその構造図を Fig. 3. 5 および 3. 6 にまた写真を Fig. 3. 7 に示す。

Impeller は推力逃がし用バネ①により Impeller Shaft ⑤に取りつけられており、Shaft より Torque をうけて回転するが推力は①のバネの変形によりその大部分を推力伝達用で、②をかいして推力取出用 Gauge バネ③の反力を Balance せしめられている構造である。模型を組みあげた状態で Impeller に軸方向の既知の力を加えてこの力と Gauge バネ③の出力（自記記録にて記録）との関係を検定しておくことにより Side Thruster 作動状態における Impeller 推力を Gauge バネ出力により計測することができる。組立状態におけるバネの検定曲線を Fig. 3. 8 に示す。Impeller 動力は Ward Leonard 制御の 0.45kW 直流 Motor の出力を Shaft ④をとおして供給する。Impeller 回転数は Motor に付属の回転計により毎秒回転数が記録用紙に Print される方式である。

拘束状態の試験における拘束横力の計測はあらかじめ検定を行なった板バネで模型船の中心線上の 2 カ所の横動きを拘束し、このバネにかかる力をバネの表面にはった電気抵抗線歪計により計測した。バネの検定曲線を Fig. 3. 9 に示す。

無拘束状態の試験では通常の自航試験と同様に船内に搭載した Ward Leonard 制御直流 Motor により Propeller を回転させ必要に応じてその回転数および推力を記録した。

拘束点の 2 個の横力 Impeller 推力および Propeller 推力は直流増巾器により増巾した後 2 台の 2 要素自記直流電圧計により記録した。また舵は操舵装置により最大舵角  $\pm 35^\circ$  の操舵を行なったが、舵角はあらかじめ設定しておき転舵の方向のみを遠隔操作する方法をとり操舵時期などを別途記録した。

航跡の写真は模型船の船首尾中心線上に豆電球を固定し、模型船上の電接時計により 1 秒間隔でこれ

を点滅させ水槽に対して固定した Camera により光点の移動を記録した。

### 3.3 総合性能試験結果ならびに検討

#### 3.3.1 拘束状態における横力計測

拘束状態に横力計測においてはすべて船体中心線上の 2 点において船体を拘束し、ここにかかる横力を計測し船体にかかる横力（力の大きさおよび作用点の位置）を求めた。

本試験に作用した符号は下記のとおりである。

Impeller 推力  $T(\text{kg})$

Impeller 回転数  $n_I(\text{r.p.s})$

合成横力  $F(\text{kg})$

(合成横力は船体中心線に直角な成分をとる)

合成横力の作用点 船体中央より  $x(\text{m})$  前方

拘束点における反力  $F_1, F_2(\text{kg})$

拘束点の位置は模型船により、また試験状態により一定でないが  $F_1$  は前方位置に対するものである。また岸壁近傍における試験では  $F_1, F_2$  は岸壁に直角の方向の分力である。

水深  $H(\text{m})$

模型船吃水  $d$  との比  $H/d$  で示す。

岸壁よりの距離  $l(\text{m})$

(Side Thruster 取付位置の船体中心と岸壁との距離をとる)

岸壁に対する傾斜角  $\theta$

模型船排水量  $\Delta(\text{kg})$

模型船巾  $B(\text{m})$

無次元表示として  $F/T, F_x/T_{Lpp}, F_2/\Delta, T/\Delta$  などを使用した。混同のおそれのない場合は  $T, n_I$  は回転方向にかかわらず正とした。

ただし、岸壁近傍において正逆回転の試験を行なっている場合は岸壁の方へ水流をだし、離岸の推力をだす場合の  $T, n_I$  を正とし、逆回転の  $T, n_I$  を負とした。

また  $F$  および  $F_1, F_2$  は常に  $+T$  と同方向の力を正とした。

また水深および岸壁からの距離は小水槽（巾6.1m、深さ3.65m）において試験した場合はそれぞれ  $\infty$  と表現した。

#### (a) 開水状態における船首横押し（小水槽）

停止中に Side Thruster を作動させ Impeller 回転数を変更し船体にかかる横力を計測した。

供試模型船は下記のとおりである。

Fig. 3.10~3.12 に 3 船型に対して計測した  $T, F_1, F_2$  を  $n_I$  を Base として示すが、この結果  $T, F_1, F_2$  はともにほぼ  $n_I^2$  に比例するとみることができる。Fig. 3.13~3.15 には各船型に対する、 $F/T, F_x/T_{Lpp}$  を示す。

M1463 (Liner) においては  $n_I$  の増加とともに  $F/T, F_x/T_{Lpp}$  とともに増加しているが一般にこれらの値は  $n_I$  に無関係であるといえるのではないかと考える。以下の実験では  $n_I=25\text{rps}$  として比較試験を行なっているので  $n_I=25\text{rps}$  における開水状態の試験結果を比較の基準として使用する。

供試模型船	Impeller回転数	試験結果
M1463 (Liner)	10, 15, 20, 25, 30 rps	Fig. 3.11, 3.14
M1512 (Cable Layer)	〃	Fig. 3.12, 3.15
M1379 (Tanker)	〃	Fig. 3.10, 3.13
M1463 開孔位置変更	〃	Fig. 3.14

### (b) 岸壁近傍における船首横押し

計測の都合上横力の計測はすべて船体に直角ではなく、岸壁に直角な方向の力を計測した。

Side Thruster の作動による船体にかかる力は船体中心線に対し直角の方向に作用するものと仮定して上記の計測値から船体にかかる横力（船体中心線に直角に働くものとしてとりあつかう）を算出した。

試験は模型船 3 隻に対して水深、岸壁からの距離、および岸壁に対する角度をそれぞれ変更して行なった。Impeller 回転数は最大深度の場合のみ変更し他の場合は 1 種の回転数につき行なった。

M1379 (Tanker) については下表に示す組合せに対して試験を行なっており、計測された  $T$ 、 $F_1$ 、 $F_2$  および  $n_I$  の値を Fig. 3.16～3.21 に示した。

	水深	岸壁に対する角度 $\theta$	岸壁よりの距離 $l$	Impeller回転数 $n_I$	成績図 No. Fig. No.
M1379	1.8	0	0.537 B, B, 1.5 B	±10, ±20, ±30	Fig. 3.16
		10°	〃	〃	Fig. 3.17
		30°	〃	〃	Fig. 3.18
	1.8～1.1	0	〃	+25	Fig. 3.19
		10°	〃	〃	Fig. 3.20
		30°	〃	〃	Fig. 3.21

Fig. 3.16 によれば岸壁へ船首を寄せるように Side Thruster をはたらかせた場合は船体の角度にかかわらず、岸壁からの距離の影響はほとんどなく岸壁からの距離の影響は無視してさしつかないと結論することができる。またこのことからも推定されることであるが  $\theta=0^\circ, 10^\circ, 30^\circ$  に対する各図および前項の開水中の成績をも比較すれば岸壁近くにおいても開放された側に水流をだす場合は Impeller 推力および船体にかかる力とともに、岸壁からの距離および角度に無関係に開水中の値にほぼ等しい。特に Impeller 推力の一貫性は良好である。したがって岸壁近傍の影響は岸壁側に水流をだす場合 ( $T, n_I$  は正の場合) のみにつき論ずることとする。

$n_I$  が正の場合には各角度の場合とも  $l$  が小さくなる程  $F_1$ 、 $F_2$  が小さくなっている。ただし  $T$  は逆回転の場合と殆んど同じ値であり、Impeller 推力には岸壁の影響はないといふことができる。

また  $n_I$  の変化による  $F_1$ 、 $F_2$  の変化は多少複雑な変化をしている場合もあるが一般に  $n_I^2$  に比例して変化しているといえる。したがってある回転数に対する  $T$ 、 $F_1$ 、 $F_2$  の値をとて岸壁の影響を論ずることが可能である。

Fig. 3. 19～3. 21 にはこの考えにより  $H/d=1.8$  の計測結果から  $n_I=25\text{rps}$  に対する値をよみとり水深、岸壁よりの距離、角度をかえた試験結果とともにプロットし  $H$ 、 $l$ 、 $\theta$  の影響を総合的に検討した。

Fig. 3. 19～3. 21 によれば Impeller 推力  $T$  は  $H$ 、 $l$ 、 $\theta$  に無関係に一定となることができるので Impeller 推力を基準として Side Thruster の作用を論ずることが可能であると判断される。

この判断にもとづき力の基準として Impeller 推力  $T$  をとり総合横力  $F$  および船体中心に対する Moment を計算し  $F/T$  および  $F_x/T_{Lpp}$  であらわしたもののが Fig. 3. 22～3. 24 である。この結果によれば計測結果のバラツキは大きいが概略的にみて岸壁との距離が近くなるほど、横力  $F$  Moment ともに小さくなることができる。

Fig. 3. 25～3. 28 は船型の相違の影響をみるために M1463 (Liner)、M1512 (Cable Layer) に対し同様の試験を行なった結果であるが、ほぼ同様の結論をくだすことができる。これ等の図には参考として開水中の値が記入してあるので、これに対する減少の割合をこれらの図から算出することはよいであろう。

### (c) 微速直進状態における船首横押し（小水槽）

船体を直進方向に拘束して Propeller にて微速直進中に Side Thruster を作動させ、このとき船体にかかる横力を計測した。

船体の速度および Impeller 回転数を下表のごとく変更して試験を行なった。

供試模型船	前進速度 $v \text{ m/s}$	Impeller 回転数 $n_I \text{ rps}$	試験成績図
M1379	0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0	0, 10, 20, 30	Fig. 3. 19
M1463	タ	タ	Fig. 3. 30
M1512	タ	タ	Fig. 3. 31

船速  $v/\sqrt{gL}$  を Base として各  $n$  に対する  $T$ 、 $F_1$ 、 $F_2$  の計測結果を Fig. 3. 29 (M1379)、Fig. 3. 30 (M1463)、Fig. 3. 31 (M1512) に示す。

本試験結果の第一の特徴は  $n_I$  一定の場合、船速にかかわらず  $T$  がほぼ一定であることである。したがって  $T$  を基準として Side Thruster の作用につき一般的な検討を行なうことが可能である。

船速と  $F_1$ 、 $F_2$  との関係は船速の増加にしたがって  $F_1$ 、 $F_2$  ともに減少しているが、その減少の模様は  $n_I$  によりまちまちであり、特定の船速を限界として Side Thruster の効力が減少するということはできない。

今造波抵抗の少ない微速状態を考えれば Side Thruster よりの流出速度と船速が比例的に変化すれば流体力学的性質は相似になるものと考えられる。

この考えにもとづき Impeller 推力  $T$ 、Duct 面積  $A$  および水の密度  $\rho$  を単位とした速度単位  $\sqrt{T/\rho A}$  をとり試験結果を無次元表示したものが Fig. 3. 32～3. 34 である。

すなわち、船速を  $v/\sqrt{T/\rho A}$  であらわし、横力およびモーメントを  $F/T$ 、 $F_x/T_{Lpp}$  であらわした。

この結果によると横力モーメントは  $v/\sqrt{T/\rho A}$ 、 $F/T$  の表現によれば船速のいかんにかかわらずほぼ一定の函数関係にあり、船速の増加とともに Impeller 推力に対する作用力の割合は急激に小さくなり、ある速度 ( $v/\sqrt{T/\rho A}$ ) 以上では Side Thruster の効力は非常に小さいという結論をうることができる。

なおこの表現においては寸法単位として Duct 面積  $A$  をとっているが、本試験においては船長および Duct 直径を一定として試験を行なっているので本試験のみから  $v\sqrt{T/\rho A}$  が限界速度の基準として妥当であると断定することはできないが前記の考え方から推してまず妥当なものであると考える。

Fig. 3. 35 に模型船に装備した Side Thruster 模型の写真をまた Fig. 3. 36 に岸壁近傍における横力計測中の写真を示す。

### 3. 3. 2 初期旋回ならびに針路変更試験（小水槽）

無拘束で水槽を直進中の模型船に Side Thruster または舵、或いはこれらの併用により回頭力を与えて針路を変更させ、このときの Side Thruster の Impeller 推力または舵角などの条件と模型船の針路変更の模様との関係を求めたもので、Liner 船型 (M1463) に対しては 5 種の初速に対してそれぞれ 5 種の Impeller 回転数により Side Thruster を作動させ、Side Thruster の推力と転針の関係を求め、また Tanker 船型 (M1379) に対しては 5～6 kn の一種の初速に対し、舵 Side Thruster およびこれらのへいようによる転針の状況の変化を観察した。Fig. 3. 37～3. 40 にこの状態を示す。

#### (a) Liner 船型による針路変更試験

単独性能試験はすべて Impeller の失脚率 100% の状態で行なわれたが、これは静止した船体における Side Thruster 作動状態に対応している。一方 Side Thruster の実際的可能を調べるために進行中の船体における作動状態をも検証しておかねばならない。

ここでは最も一般的な船型の一例として高速 Liner をえらび約 1 kn から 10 kn 程度の速度範囲に対する船首 Side Thruster による針路変更能力を調査した。

すなわち、5 段階の速度に対し模型 Side Thruster の横推力をそれぞれ 5 段階変更し、これらのおのの組合せに対して針路変化を観察記録した。

Fig. 3. 37～3. 40 は推力を各図で一定とし速度を 5 段階変更したものである。

その結果大体の傾向として次の結論が得られた。

(i) Side Thruster のききは船速の上昇とともに急激に低下する。

(ii) 速度が 1～3 kn 程度の範囲では Side Thruster の作動によって船体は船尾を外方に振りだしながら回頭するがそれ以上の速度では船尾振り出しを全くせずに回頭する。

(iii) Side Thruster による回頭運動では 1～3 kn の速度範囲をのぞき殆んどすべての場合、船尾は船首と空間的に同一もしくは互いに非常に近接した軌跡をえがく（船首 Lamp が空間的に

通過した軌跡を船尾 Lamp がたどる)

なお(i)については Appendix(2)に詳細に論ぜられており実験結果はこれをよく証明していると考えられる。また文献(1)では「6、7 kn 附近で Side Thruster のききが急減する」という記述があるが、これは定量的にやや差が認められはするものの傾向としては今回の実験と一致している。定量的な差は Appendix に見られるとおり、船体横方向の圧力中心と Side Thruster との相対的な位置に左右されることから主として船型的な差にもとづくものと思われる。

(ii) は別項で行なった静止時の Side Thruster のみによる回頭運動の観察からも類推される事柄である。すなわち互いに船型の異なった 3 種の模型船を船首 Side Thruster で静止状態から回頭させると大体船尾から  $1/3 \sim 1/2 L_{pp}$  の位置を中心として回頭することが観察された。静止状態においてはすべての場合横推力方向に回頭することが Appendix (2) にも示されているが、今回の試験の最低速力程度の微小速度に対しても静止状態とほぼ近似の状態が現出するものとみられ顕著な回頭がみられた。(Fig. 3. 41 参照)

またこれよりも高い速度範囲になると Side Thruster 位置と横方向圧力中心との前後相対的位置によっては Side Thruster 推力と逆方向の回頭もありうることが同じく Appendix に示されているがこの試験の速度範囲においては今回使用した船型および Side Thruster 取付位置に対してこの現象は現われなかった。

(iii) については舵による回頭運動において船首と船尾とがほぼ同じ円状の異なった軌跡を示す場合とある対照をなしている。この事実から Side Thruster による船の回頭運動は、舵による同程度の回頭運動にくらべ Drift Angle が小さく、船体の斜航に基く抵抗増加が少なく、したがって結局、回頭時の速度減少が軽度であることが予想される。

なお今回の試験は 1 ~ 10 kn 程度の微速状態のみについて行なわれたもので高速域における Side Thruster の作動については Appendix の理論で大要を推論することに止まると考えられる。Fig. 3. 41 は低速時の回頭状態の記録の一例である。

#### (b) Tanker 模型船による初期旋回試験

Super Tanker 船型につき旋回に入る初期の回頭状態について速度を 5 ~ 6 kn に限り船尾舵のみによる回頭、Side Thruster のみによる回頭および両者併用した場合の回頭について観察、記録したものである。

Fig. 3. 42 にこれらの回頭状態を示す。

##### (i) 船尾舵のみによる場合

10° 転舵によって直進から旋回に入る過程の船体移動および回頭を記録。

##### (ii) Side Thruster のみによる場合

Side Thruster の発生する横推力を 3 段階変更して直進から回頭に入る過程を記録。

##### (iii) 両者併用の場合

(i)、(ii)の操作を併用した場合に直進から回頭に入る過程を記録。

以上(i)、(ii)、(iii)をくらべておおよそ次のような事柄が知られる。

イ) 船尾舵による場合には、必ず船尾を外方に振りだしながら回頭するのに反し Side Thruster による回頭においては船首尾は同一もしくは互いに非常に近似した軌跡をえがく。

ロ) Side Thruster 力量については今試験の速度に対して、実船寸法に換算して横推力／水線下側面積 = 6 ~ 7 kg/m<sup>2</sup> がほぼ舵角 10° の場合の回頭力に対応する。

### 3.3.3 操船試験

Side Thruster の最も重要な機能と考えられている事柄のなかに港内、あるいは狭水路における操船性がある。そこで今回は代表的と思われる操船について数種の操船試験を行なった。

#### (a) 離接岸操船

まず代表的な操船法として接岸法 3 種、離岸法 2 種の場合をえらんだ。

##### i) 接 岸 ①

船体が岸壁と平行に 2 ~ 3 B の距離の位置に静止している状態から船首を岸壁方向に回頭させて陸上からようやく Head Line をとりうる距離まで船首を岸壁に近づけて静止させる。(あとは船尾舵と推進器によってようやく接岸しうる。)

Fig. 3.43~3.45 は 3 種の模型船についてこの方法による接岸を試みた際の 10 秒ごとの船体位置を示したものである。

##### ii) 接 岸 ②

岸壁に対し約 25° 程度の入射角をもって 4 ~ 5 kn の船速で船を岸壁に接近させ Side Thruster をきかせて船を平行に接岸、停止させる。

Fig. 3.46~3.48 にこの状態を示す。

##### iii) 接 岸 ③

岸壁から 2 ~ 3 B の距離に岸壁と平行に位置した船において船尾舵、推進器および Side Thruster を併用して斜方向に平行移動させ、後進して停止後また同様の平行移動を行ない、平行に接岸させる。これは稻妻型のように幾段階も重ね合わせて行なうことができるが代表例として乙字型すなわち 2 段階を行なう。

Fig. 3.49~3.51 にこの状態を示す。ただし Fig. 3.49 は 1 段階のみである。

##### iv) 離 岸 ①

接岸 iii) の逆で、平行接岸状態から船尾舵、推進器ならびに Side Thruster を併用して平行斜方向に離岸する方法である。

ここでも乙字型について行なう。

Fig. 3.52~3.54 にこの状態を示す。

##### v) 離 岸 ②

iv) の離岸法の操作を 2 段階に分けたものといえる。すなわち平行接岸状態で Head Line および Spring により船首を拘束し船尾舵および推進器によって 20° ~ 30° 船尾のみを外方に振って停止後 Head Line, Spring を解いて Side Thruster により船首を回頭させて船体を岸壁と平行にする。約 1 ~ 2 艦身の接岸岸壁長からそのまま真横に平行に離岸したと同様の効果がある。

Fig. 3.55~3.57 にこの状態を示す。

以上の離接岸試験を行なった結果次のことがらが知られた。

イ) 前進速度 0 の状態でようやく回頭させることができる。静止状態から船首 Side Thruster のみによって回頭する場合は供試 3 船型ともほぼ船尾から  $1/3 \sim 1/2 L_{pp}$  の位置を中心として

回頭する。従って 1.2~1.5 艇身を直径とする円内で  $360^{\circ}$  回頭はよういである。

ロ) ある入射角をもって岸壁に接近し、そのまま平行に接岸停止することができる。

ハ) 岸壁と任意の距離で平行に停止している船もしくは微速進行中の船を船尾舵、推進器および Side Thruster を併用することにより最小 2 艇身程度の船首尾方向長さの範囲内で平行のまま接岸することが可能である。またこの逆操作による離岸も容易である。

ニ) Head Line を使用することにより最小 1.5 艇身程度の船首尾方向長さの範囲内で船体を離岸、岸壁から 1.5~2.0 B の距離に岸壁を平行な位置まで船を移動させることができるもの。

ホ) 船型別の差異としては Fine な高速 Liner は Full な Super Tanker よりも Side Thruster のききがよく追従も早い。

ヘ) Side Thruster 力量としては無風状態においては実船寸法に換算して横推力／水線下側面積の値が最大  $12 \text{ kg/m}^2$  あれば何等不足なく上記の離接岸操作が実行できる。ただしこれ以下の力量でもよいが多少間のびのした作動となる。

#### (b) 狹水路操船

狭水路の一具体例として巾 2 B および 3 B、屈折角度  $170^{\circ}$  および  $160^{\circ}$  の組合せであるくの字型水路につき Super Tanker 模型を使用して Side Thruster を作動、屈折部を通過させ、この時の航跡ならびに時間を観察、記録した。

Fig. 3.61~3.64 にこの状態を示す。

この結果次のことが知られた。

i) 巾 3 B の水路では屈折角度  $160^{\circ}$ 、 $170^{\circ}$  とも船速  $5 \sim 6 \text{ kn}$  程度ならば船尾舵および Side Thruster のうちいずれか一方のみをもちいて通過することができる。

ii) 巾 2 B の水路では  $160^{\circ}$ 、 $170^{\circ}$  とも船速  $5 \sim 6 \text{ kn}$  程度において船尾舵および Side Thruster のうち、いずれか一方のみをもちいて通過することはやや危険と思われ、両者を併用して十分安全に通過することができる。

iii) Side Thruster 力量としては、実船寸法に換算して横推力／水面下側面積の値が最大  $12 \sim 13 \text{ kg/m}^2$  程度あればきわめて満足に上記の水路を操船通過することができる。これ以下の力量でも運動がまのびするだけであり、前進速度が小さければかなり有効な作動が期待できると思われる。(ただし今回の試験にもちいた船体の Side Thruster 取付位置は FP の後方  $0.05 L_{pp}$  である。)

#### 3.3.4 直進抵抗試験

直進中抵抗試験は Side Thruster 用の開孔を有する船体の航行中において開孔が直進抵抗に与える影響について調査したものである。

また開孔なしの場合をも同一の状態で抵抗試験を行なった。抵抗試験を行なった開孔の状態は下記のとおりである。

抵抗試験結果を Fig. 3.66~3.68 に示す。

本試験結果によれば M1463 (Liner) 船型では開孔の形状のいかんにかかわらず開孔による抵抗増加は無視することができる。M1512 (Cable Layer) においては抵抗増加は非常にわずかであり全速度範

模型船番号	開孔状態	
M1379	船首開孔のみ	Fig. 3.4
〃	船首および船尾に開孔	〃
M1463	船首開孔（前方位置）	〃
〃	〃（後方 〃）	〃
〃	〃（縁の丸みの半径を大きくしたもの）	Fig. 3.65
〃	〃（整流溝付）	〃
M1512	〃	Fig. 3.4

囲にわたって  $C_r$  の増加は 4 % 程度である。

M1379 (Tanker) においては開孔の影響は比較的大きく、船首開孔、船尾開孔とともにそれぞれ  $C_r$  において低速で 10%、高速で約 5 % の増加がみられる。

これらの結果から Fine な船型では開孔の影響は小さいが Full な船型では開孔の位置次第では相当な抵抗増加があるものとみることができる。

#### 4. 結論

以上「Side Thruster に関する研究」につき詳細な各試験項目について試験の概要、成果およびそれに対する検討を述べたが最後に結論として次の 6 項目に分けて成果の概要をとりまとめる。

##### 4.1 Duct 形状に関する試験

Side Thruster の Duct 形状は断面形状のように Side Thruster の効率のみを考えて自由に選定することができる要目もあるが、Side Thruster の構造上の条件または船体の設計上の条件などの制約をうけて Side Thruster のみを考えて任意に選定することができない要目も多い。「Duct 形状に関する研究」においては通常採用される Duct 形状に近くかつ幾何学的に簡単な Duct 形状を標準として、Duct 各部の形状をしゆじゆ変更して、それらが Side Thruster の性能におよぼす影響を調査した。Duct 形状は Impeller 特性とは独立に考えることができるので、ここに得られた資料により選択の自由な要目については最良の効率をうるような形状を選択し、また他の設計条件により制約を受ける要目についてはその変形による Side Thruster の効率の相違を定量的に求めて総合的に良好な Duct 形状を選択することができる。また Side Thruster 力量決定にあたっても採用された Duct 形状と標準 Duct との性能の差を定量的に求め設計の資料とすることができます。

##### 4.2 Impeller に関する系統試験

梢円型翼輪郭および Kaplan 型翼輪郭を有する 4 翼可変 Pitch 型 Impeller および固定 Pitch 型 Impeller の比較試験を行ない Kaplan 型翼輪郭可変 Pitch Impeller については、翼面積を変更した Impeller 2 個を追加し、さらに可変 Pitch Impeller については Pitch 比を 0.3～1.25 に変更した広範な系

統試験を行ない所要推力に対し適当な Impeller の設計ならびに原動機の所要力量を決定するのに必要な資料を得た。

なお基礎資料として 3 翼および 4 翼 Impeller の比較、Boss 比の影響の調査をも行なった。

本試験の結果、翼輪郭は Kaplan 型の方が有利であると思われる。Impeller 直径および所要推力があたえられれば、ここに得られた系統試験結果により、Pitch 比、回転数、所要馬力の関係を求めることができる。面積比については面積比小なるほど、効率が良いので Cavitation を考慮して所要翼面積を決定する必要があることは一般 Propeller と同様である。Boss 比も小なるほど有利であるが、可変 Pitch においては機構上、相当大きな Boss 比が必要と思われる。これらの面積比および Boss については各系統試験の結果を利用して必要な修正を行なうことができる。

Impeller 直径は回転数が任意にえらべる場合には直径が大きいほど、効率（一定馬力に対する推力の大小を仮に効率とよぶ）が良い。しかし一般に構造上その他の点で直径は別途選定されるものと考える。直径一定の場合、系統試験の結果によれば試験を行なった Pitch 比 1.3 程度までは Pitch 比大なる程効率が良く、Pitch 比 1.0 以上ではほぼ一定である。しかし Pitch 比が大きいことは同一馬力に対して回転数が低いこととなるから原動機にとっては一般に不利な条件となるので、常用出力において Pitch 比 1 程度が有利ではないかと考えられる。

本報告には上記のごとく直径があたえられ回転数を任意に選択できる場合につき資料を作ったが、実際の設計にあたっては原動機の問題、その他機構的な制約により回転数があらかじめ与えられる場合が多いと思う。所要推力と回転数があたえられた場合過大な直径を選べば Pitch 比が過少となるため Impeller 効率が非常に悪くなり Duct との総合効率も悪くなることは当然である。しかし回転数一定で最も効率のよい Side Thruster を設計するための図表などはそれぞれの条件に応じて本報告に収めた図表から求めることができるのでこれらは実際設計の段階の作業にゆずり、本報告では基本的な資料の提出にとどめた。

#### 4.3 拘束模型船による横力計測

横力計測においては一定の Impeller を使用して停止中 または微速直進中の模型船にかかる横力および Moment を計測した。模型船は Full な Tanker、Fine な Liner およびこの中間の Fullness の双螺船 (Cable Layer) の 3 隻で、計測された Impeller 推力を媒介として 4.1、4.2 の資料を活用し各種の船型に装備された Side Thruster による船体へ加わる横力および Moment を求める資料が得られる。

本試験により得られた資料を理論計算の運動方程式に適用することにより実船の Side Thruster による運動に対し実状にそくした理論計算を行なうことができる。

#### 4.4 操船試験

操船試験においては 4.3 の場合と同じく Impeller の推力を媒介として Side Thruster の作用と模型船の運動との関係を求めたもので、理論計算の運動方程式に本試験の条件を入れて船体の運動を計算し、できれば理論と実験との比較を行なうことも目的としたが、とりまとめ期限の都合で理論計算との比較は行なうことができず、操船試験の記録のみを集録した。

#### 4.5 直進抵抗試験

Side Thruster のための開孔による直進抵抗の増加は船全体の効率を考える場合には重要な問題であり Side Thruster の装備にあたって必ず問題となると思われるので操船試験を行なった 3 隻の模型船

について常用の速度範囲にわたって開孔の有無による船体抵抗の比較を行なった。

この結果 Fine な Liner 船型では開孔の位置、Duct 端部の形状の多少の変化にかかわらず開孔による抵抗増加はほとんどなく Full な Tanker においては船首、船尾の開孔ともそれぞれ10%程度の剩余抵抗の増加があることがみとめられた。中間の Fullness の Cable Layer 模型においては4%程度の剩余抵抗増加である。

抵抗増加の量は主として船首の Fullness に影響されるものと思われる。

#### 4.6 理論計算

Appendix に添付したごとく4委員によって Side Thruster の作用に関する諸問題につき理論的研究が行なわれ、一部は定性的に水槽試験との一致がたしかめられており、今回行なわれた水槽試験を解析する上に有力な資料となることを信ずる。

本研究においては実施された水槽試験をこれらの理論により解析し、理論と実験との関連をあきらかにし、理論のうらづけをするとともに小数の実験資料から理論の活用により広範な実際問題へ拡張、応用することを理想としたものであるが期日の関係で残念ながらここまで完成することはできなかった。

しかし将来この方向へ研究を進展させるに必要な資料は全部本報告に集録せられている。

### 5. 結 言

以上のように最も一般的な形式を有する Side Thruster について基礎的な研究を行なったが、本研究のうち Side Thruster 単独性能および総合性能に関する実験的研究は本研究部会全委員の協力のもとに三菱造船株式会社研究部船型試験場において実施された。かなり無理な工程のもとに本研究の完遂に努力した関係者一同に深く謝意を表する。

また実験的研究と併行して行なわれた理論的研究はいずれも貴重な成果であって、前半の実験的研究とあわせて Side Thruster の開発研究に大きく寄与するものである。Originality を尊重する立場から、それぞれの担当委員の名のもとに Appendix として最後にとりまとめたが、これら研究担当委員にも厚く謝意を表する。

#### 〔参考文献〕

- (1) Pehrsson, L. & Mende, R. G.

"Design, Model Testing and Application of Controllable Pitch Bow Thrusters." Jour. A.S.N.E., Nov. 1961

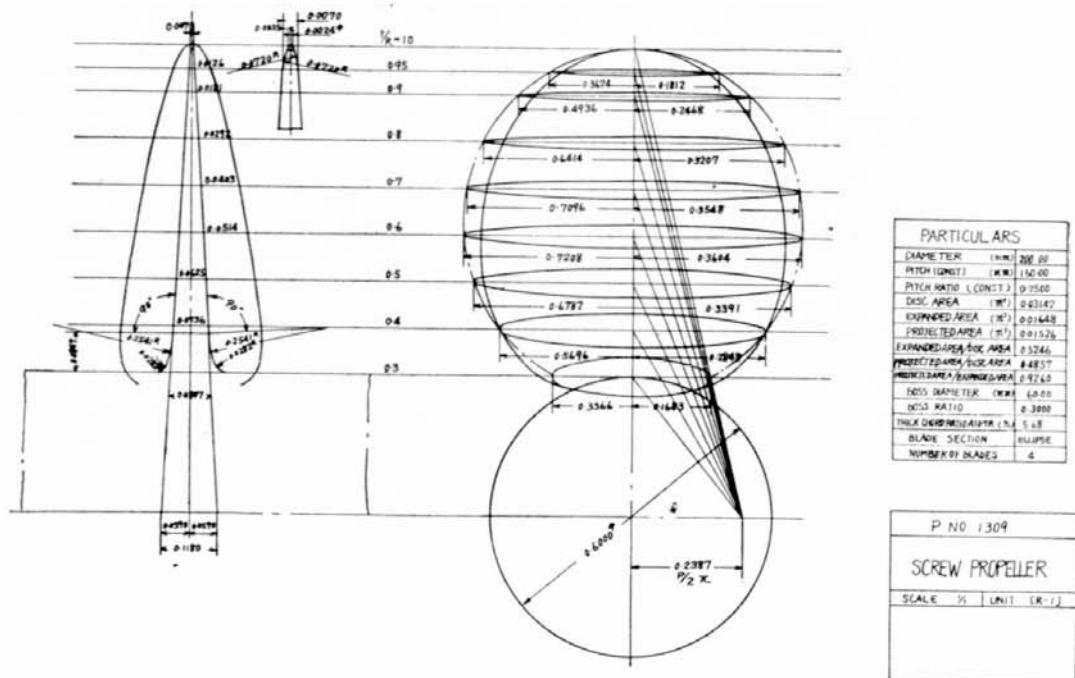


Fig. 2.1 Fixed Pitch Impeller (P.1309)

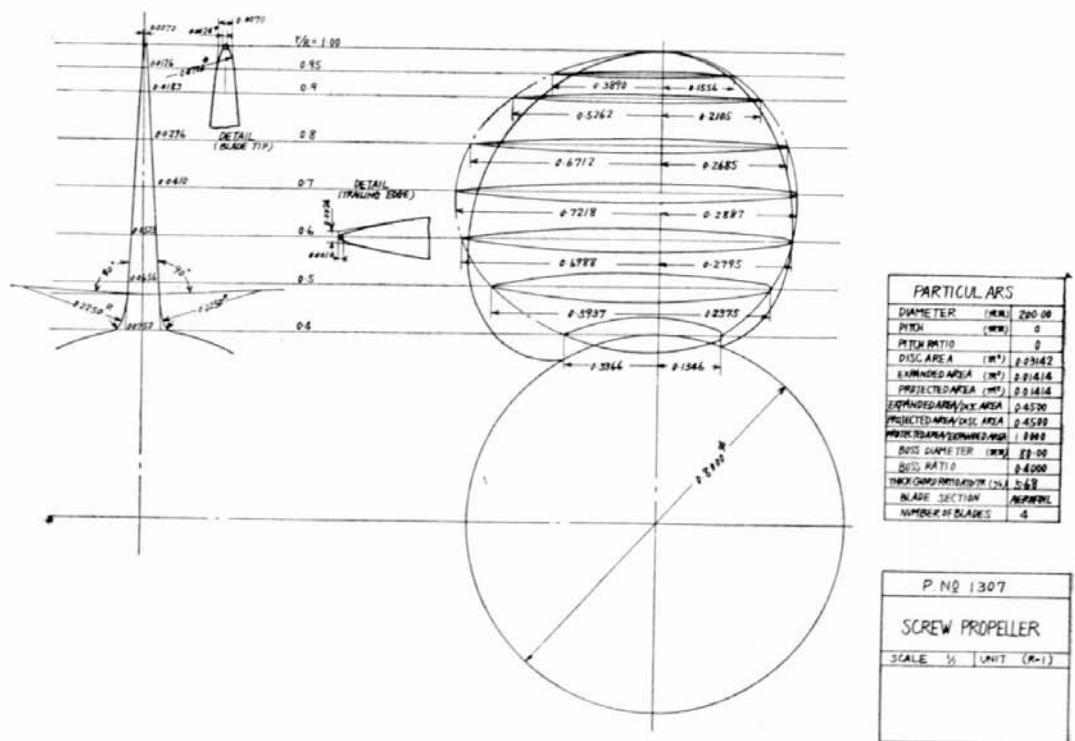


Fig. 2.2 Controllable Pitch Impeller (P.1307)

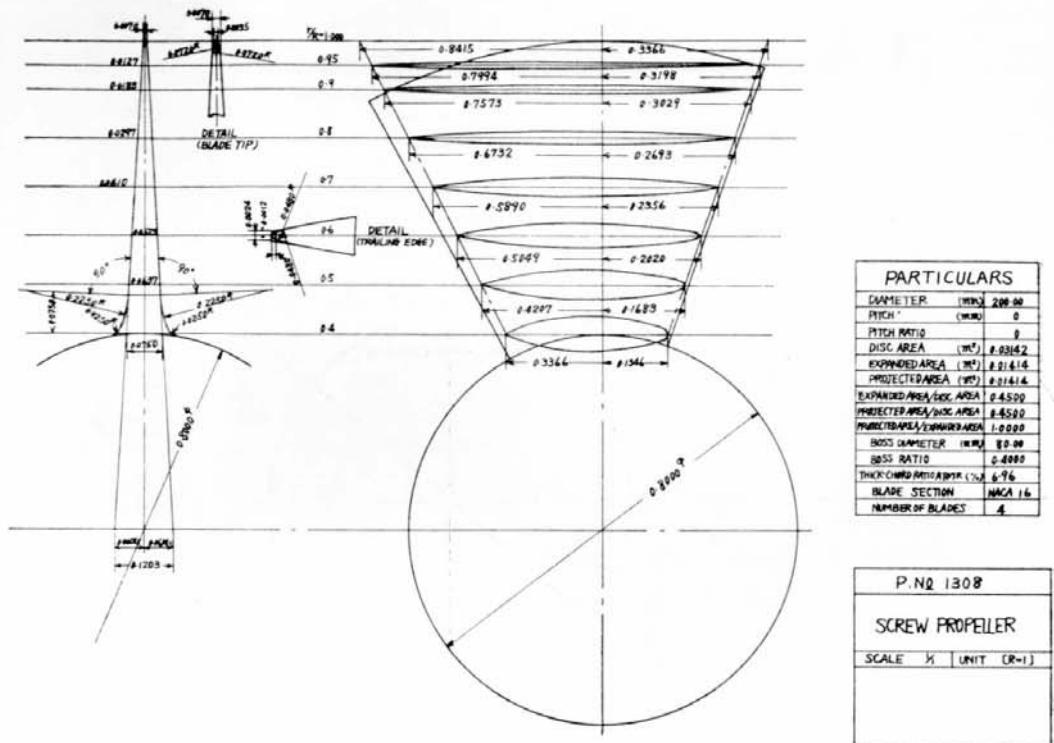


Fig. 2.3 Controllable Pitch Impeller (P.1308)

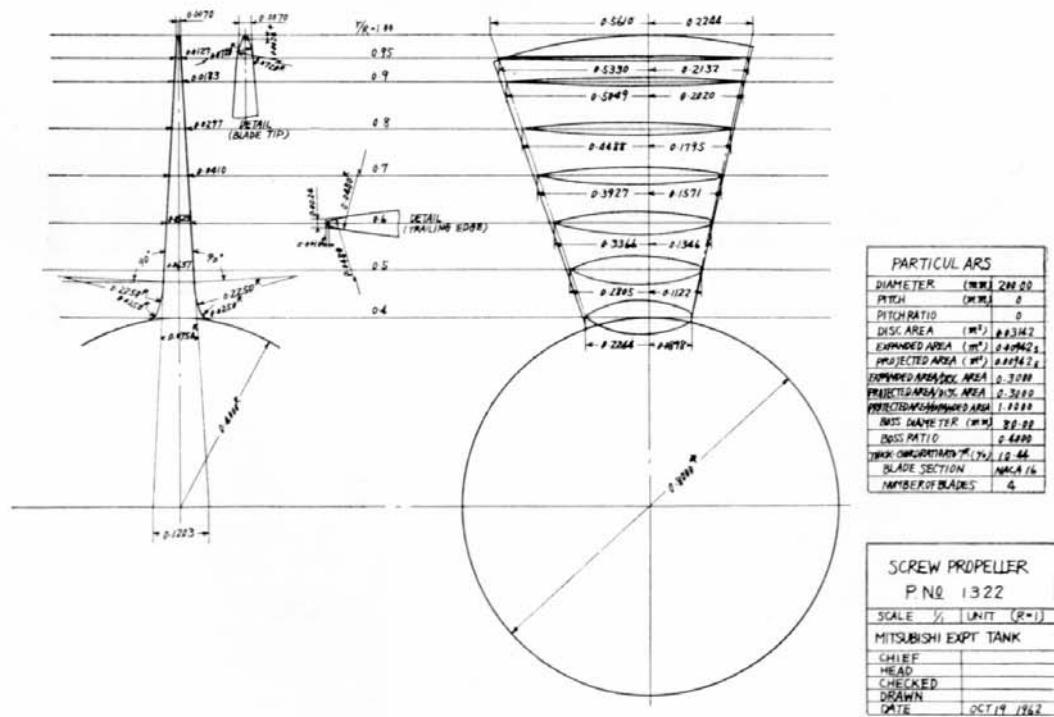


Fig. 2.4 Controllable Pitch Impeller (P.1322)

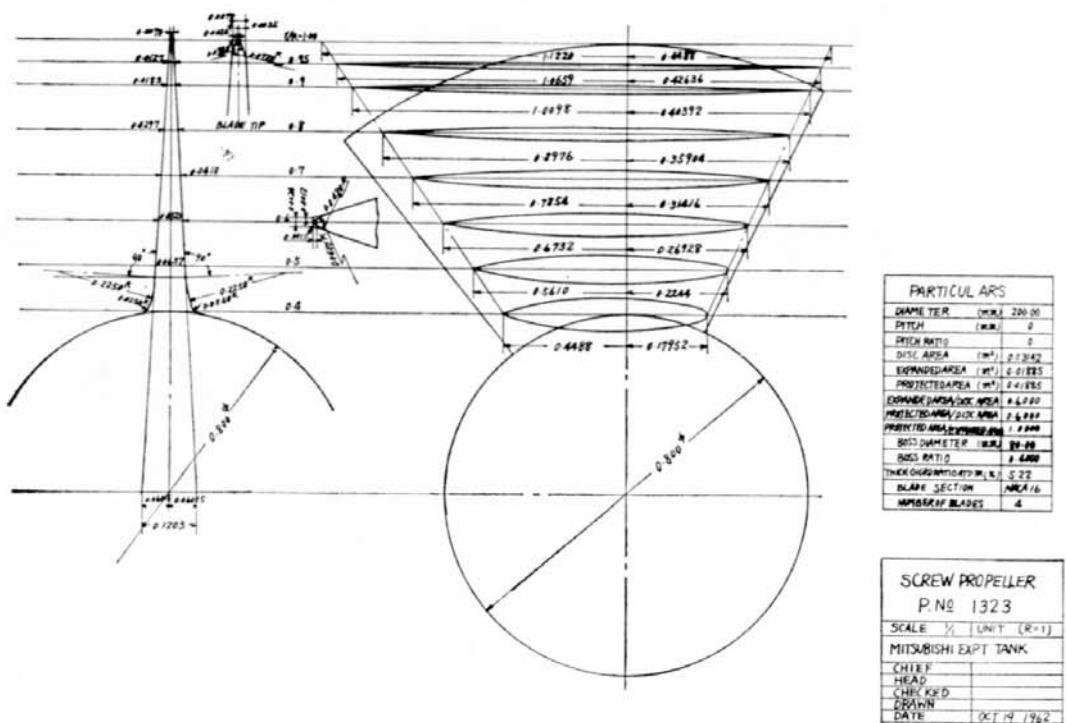


Fig. 2.5 Controllable Pitch Impeller (P.1323)

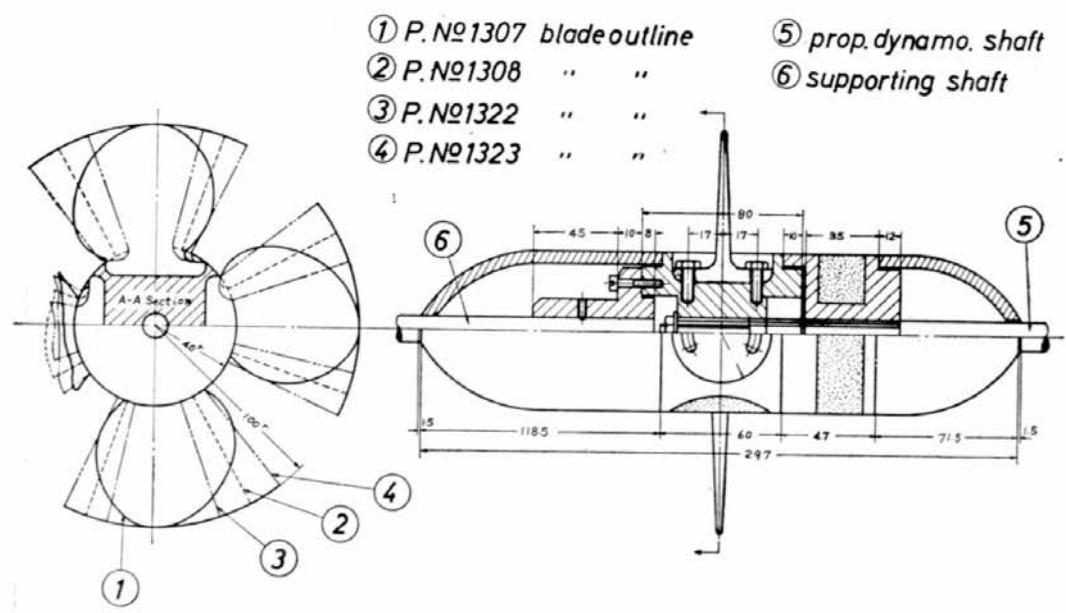


Fig. 2.6 Controllable Pitch Impellers

- ① P.N°1309 bladeout-line (projected on O-pitch plane)  
 ② propeller dynamometer shaft

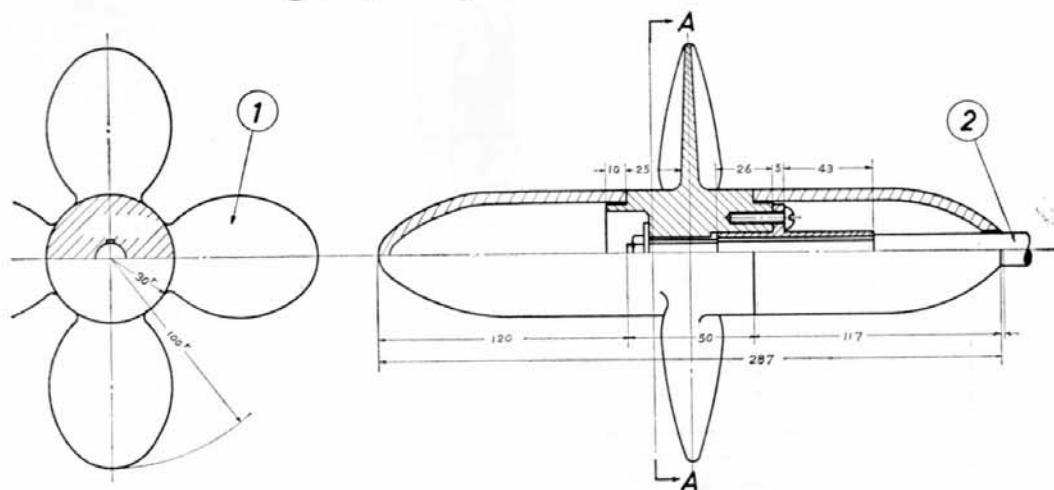


Fig. 2.7 Fixed Pitch Impeller

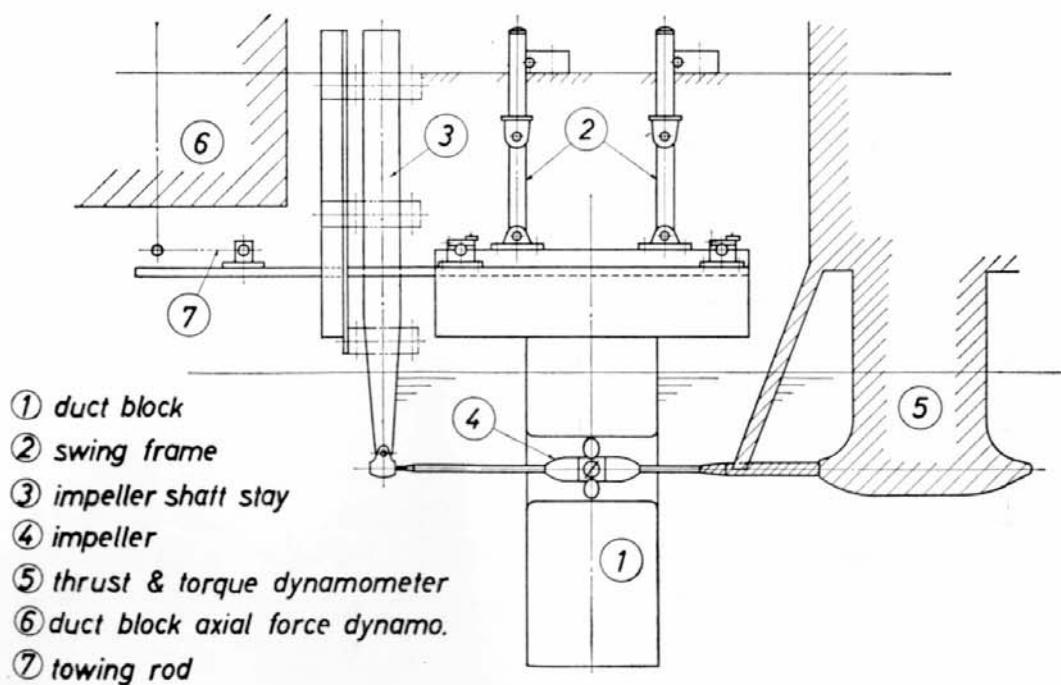


Fig. 2.8 Fundamental Test Arrangement

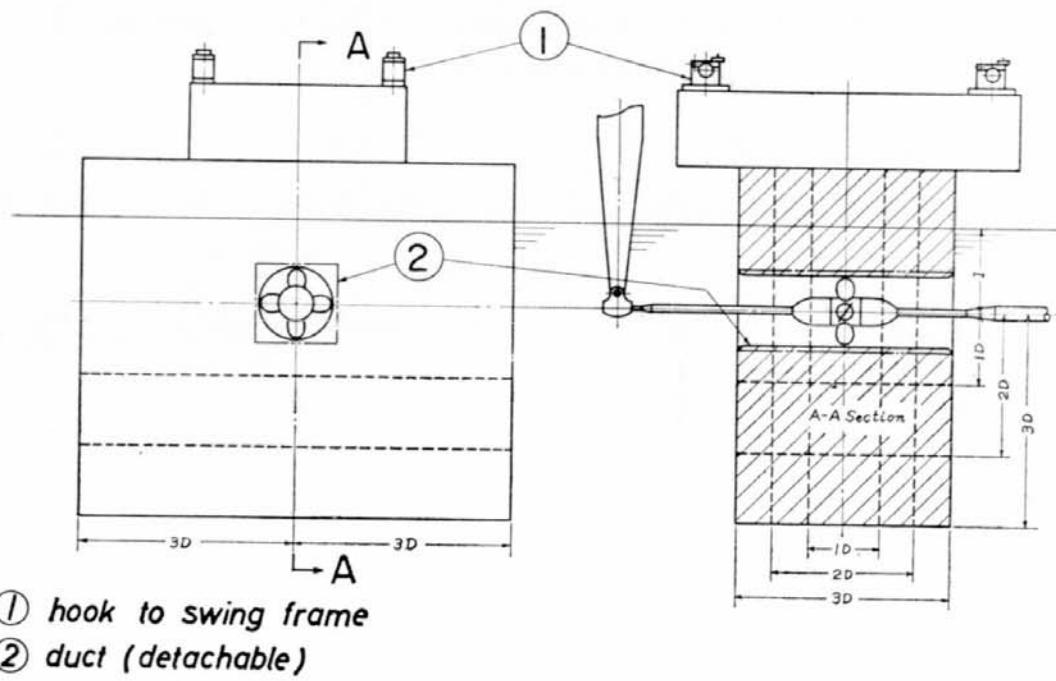


Fig. 2.9 Duct Block (Parallel wall type)

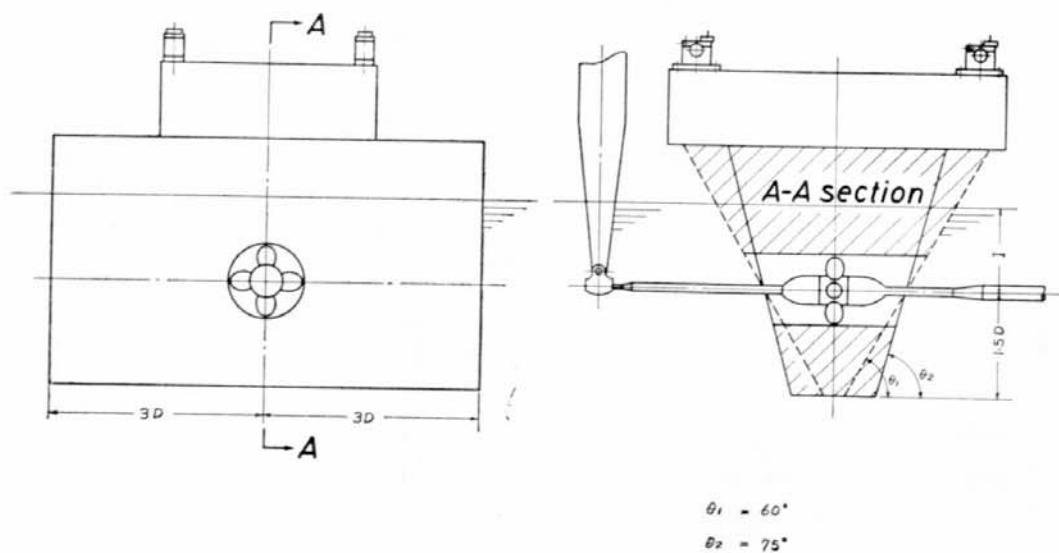
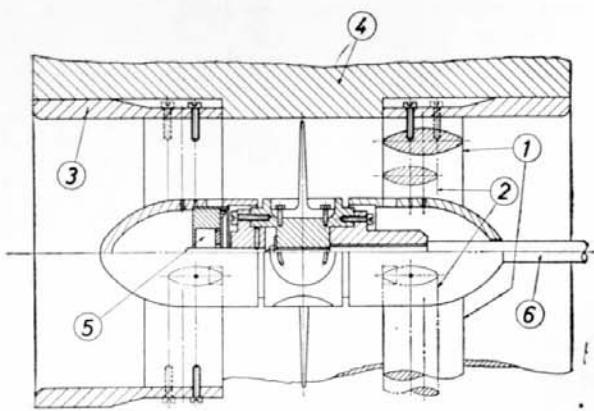
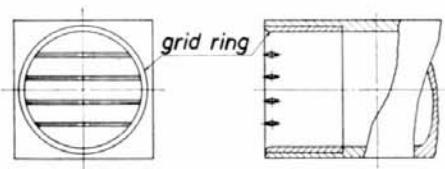


Fig. 2.10 Duct Block (inclined wall type)



(a) Guide Vane & Axial Thrust Escapement



(b) Grids (Case for  $n=4$ )

Fig. 2.11 Guide Vane & Grid

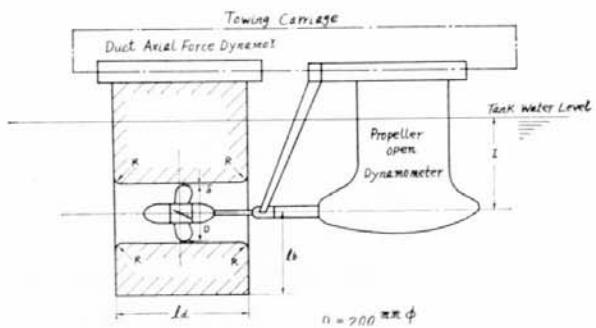


Fig. 2.12 Test Arrangement

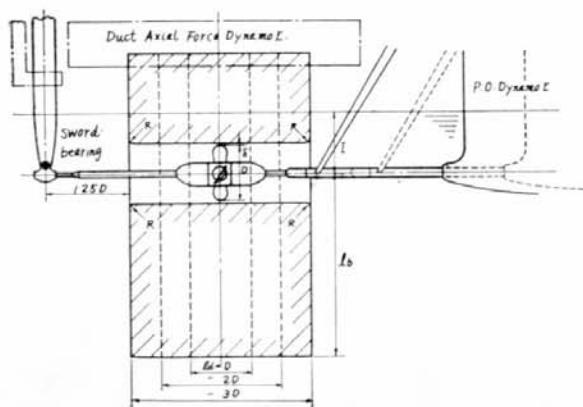


Fig. 2.13 Duct Length Series

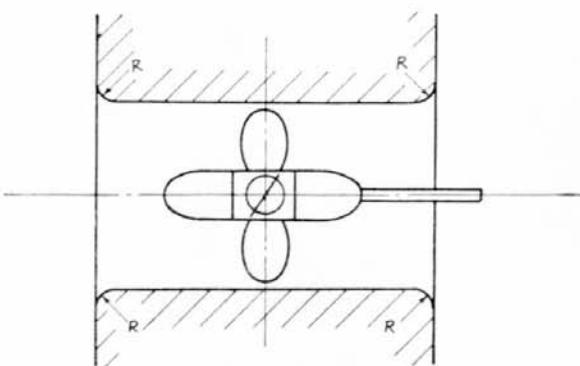


Fig. 2.14 Duct Entrance

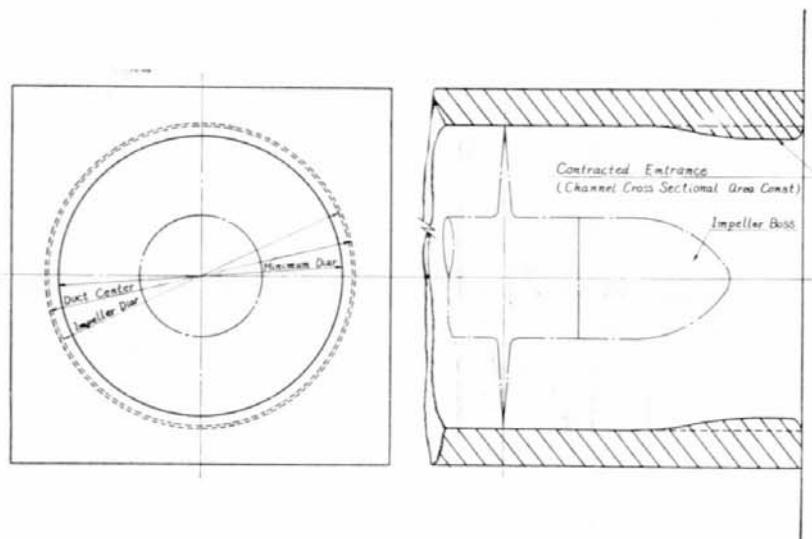


Fig. 2.15 Tested Duct with Concave Inner-wall

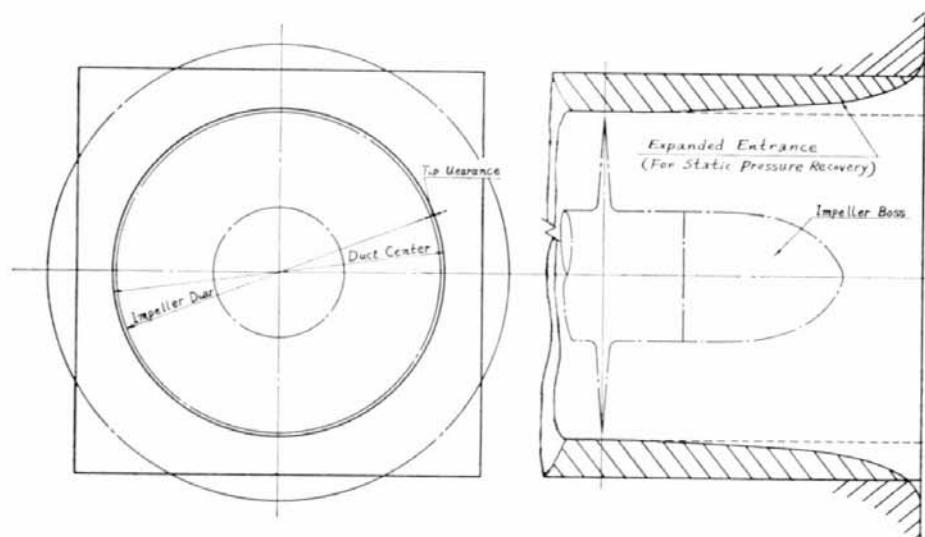


Fig. 2.16 Tested Duct with Convex Inner-wall

#### Deformed Duct Dimensions

(a) CONVEX Inner-wall Type  
(For Static Pressure Regain & widening Angle)

Axial Distance O(Duct Center)	$R - R_o$
~ 20	*
30	+ 0.1
40	+ 0.4
50	+ 0.8
60	+ 1.3
70	+ 2.1
80	+ 2.9
90	+ 3.6
100	+ 4.3
110	+ 5.0
120	+ 5.8
130	+ 6.6
140	+ 7.7
150	+ 9.0
160	+ 10.4
170	+ 12.0
180	+ 14.5
190	+ 18.7
200	+ 40.0 (10.5%)

(b) CONCAVE Inner-wall Type  
(For Constant Channel Cross Sectional Area)

Axial Distance O(Duct Center)	$R - R_o$
~ 9.0	*
100	- 0.3
110	+ 1.1
120	+ 2.5
130	+ 4.2
140	+ 6.3
145	+ 7.0
150	+ 7.5
160	+ 8.2
170	*
180	*
190	*
200	+ 1.0 (10.0%)

Diameter at Duct Center 203 mm ( $2R_o$ )

Common to (a) & (b)

$R$  = Radius of Duct Section

$R_o$  = Radius at Duct Center

Fig. 2.15 & 2.16 Deformed Duct Dimensions

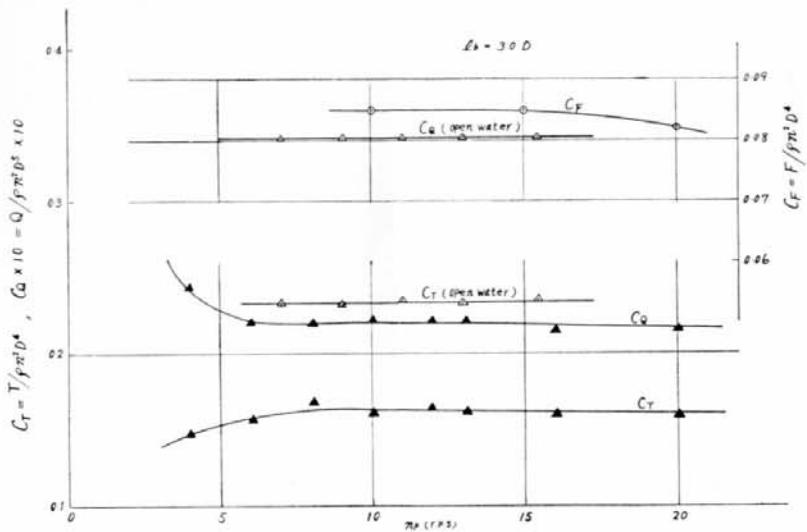


Fig. 2.17 Bottom Immersion Series

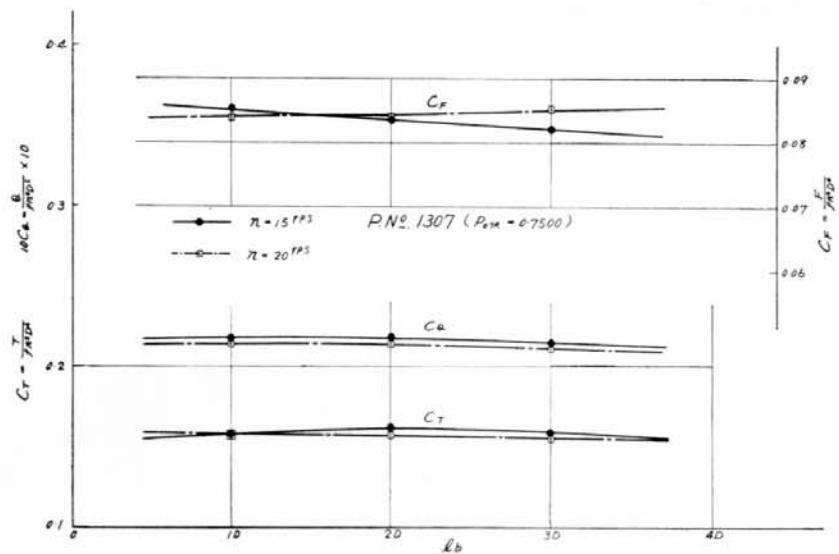


Fig. 2.18 Bottom Immersion Series

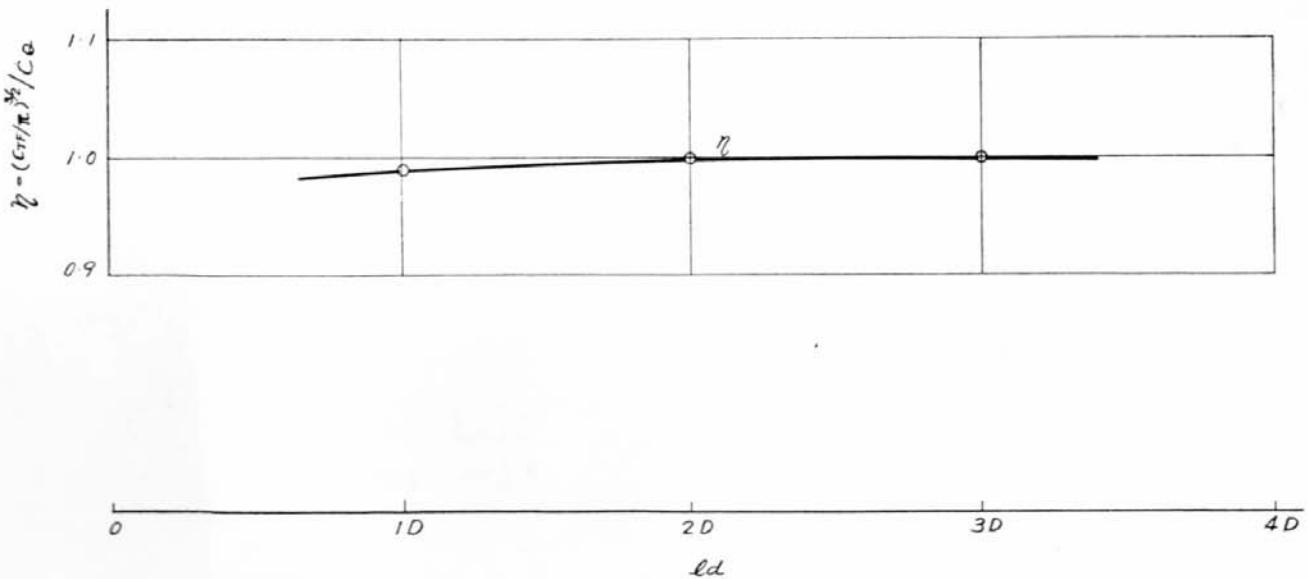


Fig. 2.19 Bottom Immersion Series

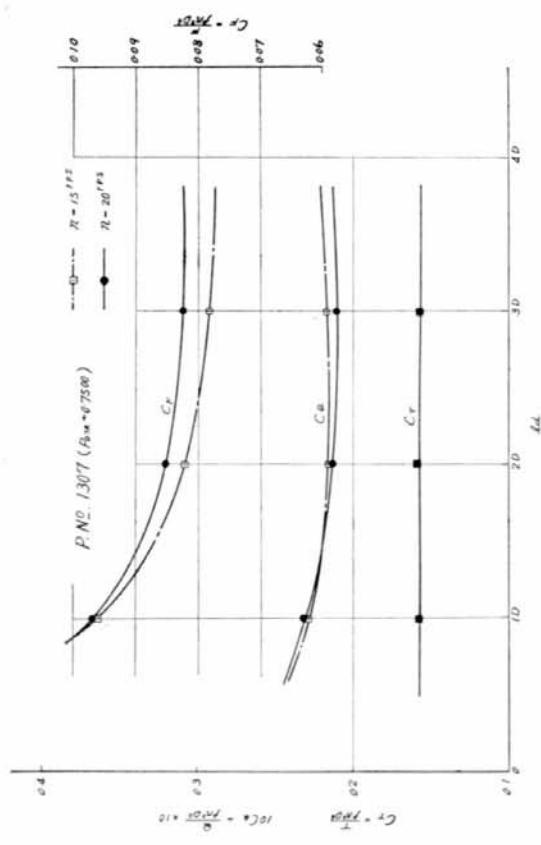


Fig. 2.20 Duct Length Series

$\rho_{\text{air}} \text{ No. } 1307 \quad (\rho_{\text{air}} \text{ at } 0.7500)$   
 $R = \rho_{\text{air}} r_{\text{PS}}$

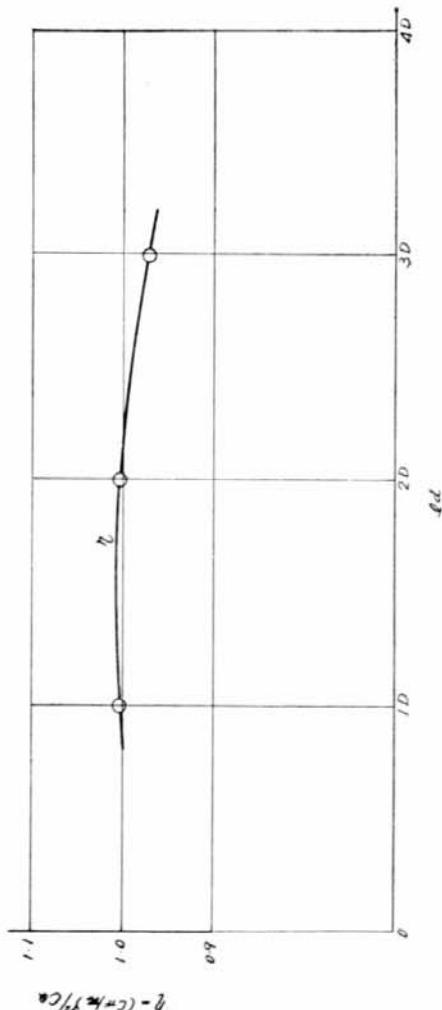


Fig. 2.21 Duct Length Series

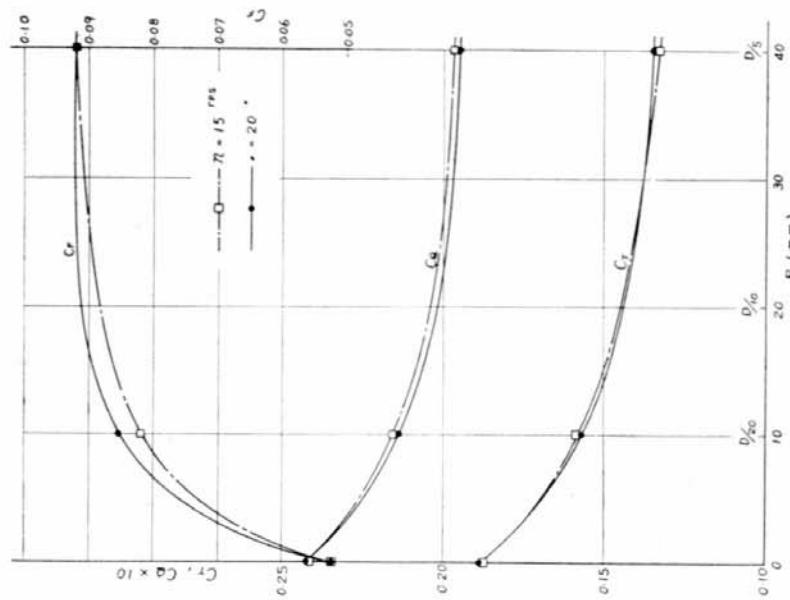


Fig. 2.22 Duct Entrance Shape Series

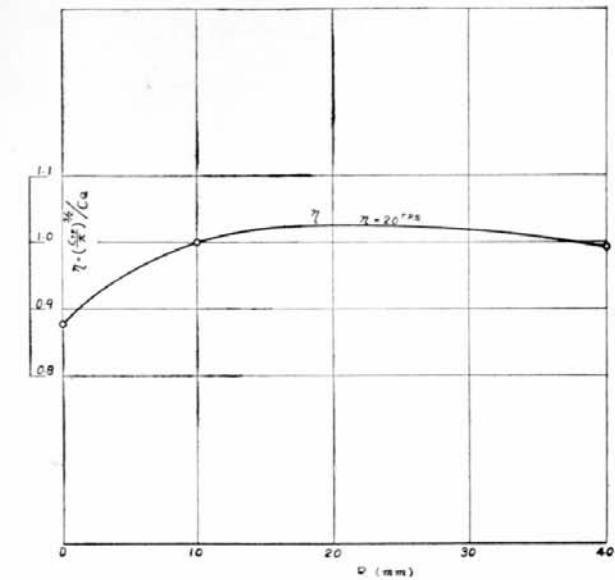


Fig. 2.23 Duct Entrance Shape Series

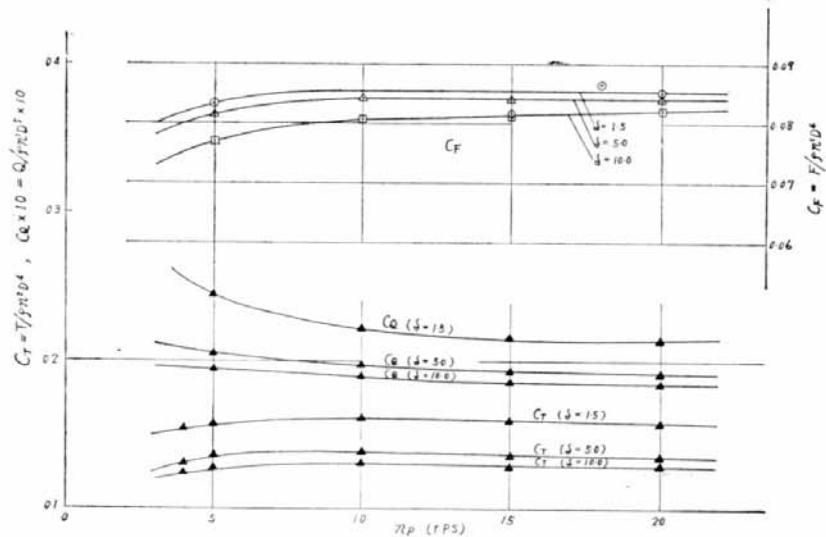


Fig. 2.24 Tip Clearance Series

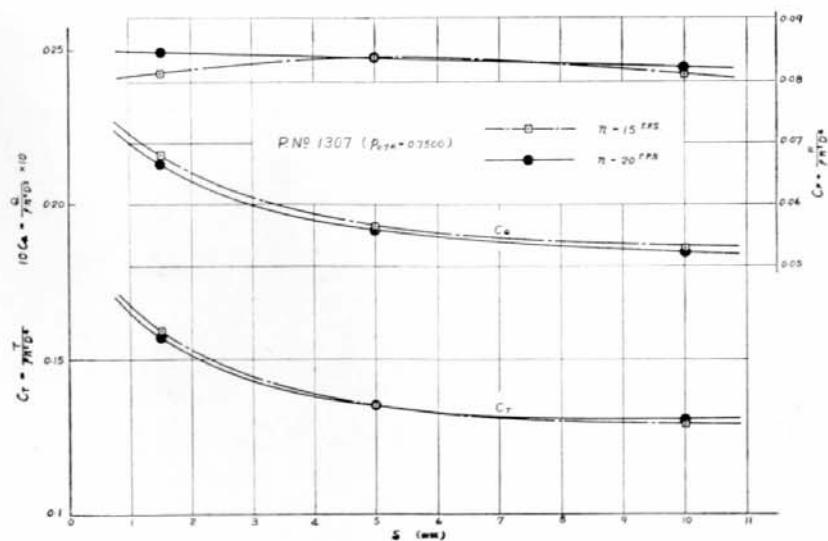


Fig. 2.25 Tip Clearance Series

P. NO 1307 ( $P_{0.7R} = 0.7500$ )

$n = 20 \text{ rps}$

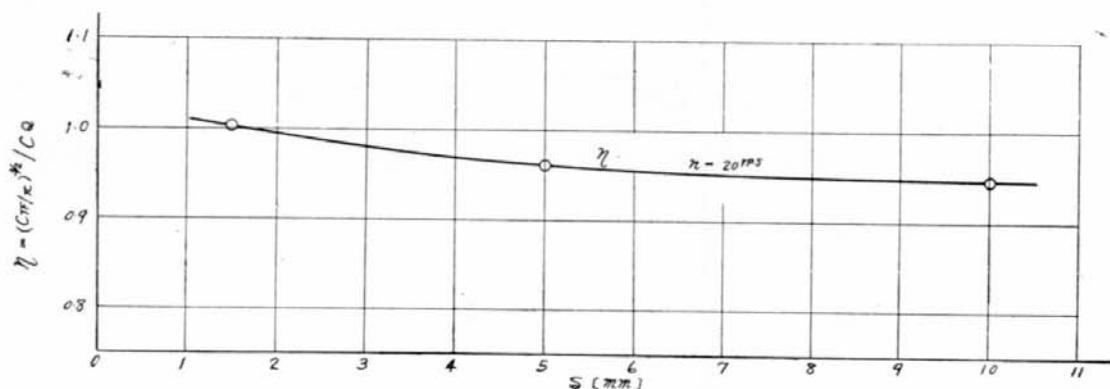


Fig. 2.26 Tip Clearance Series

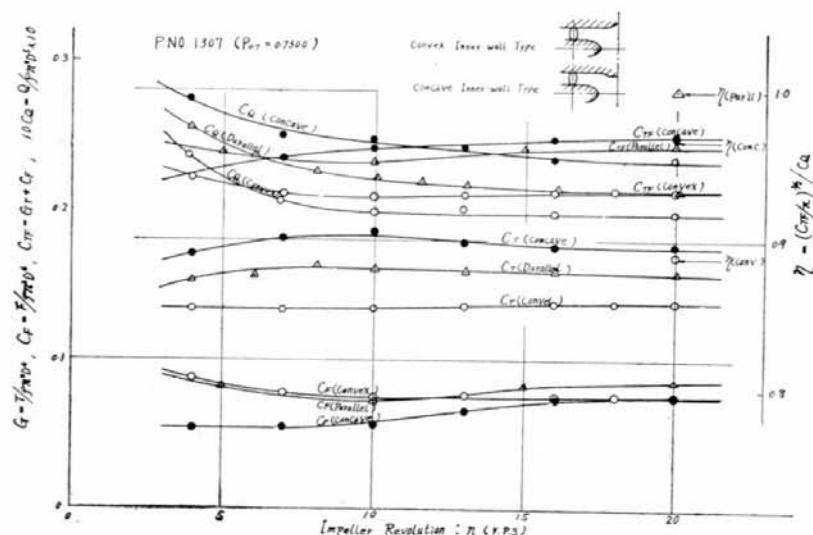


Fig. 2.27 Duct Inner-wall Shape Series

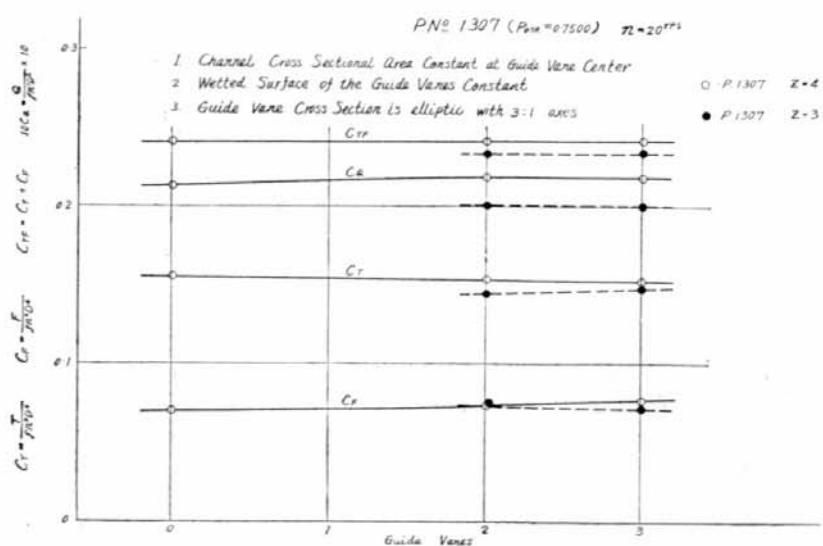


Fig. 2.28 Guide Vanes

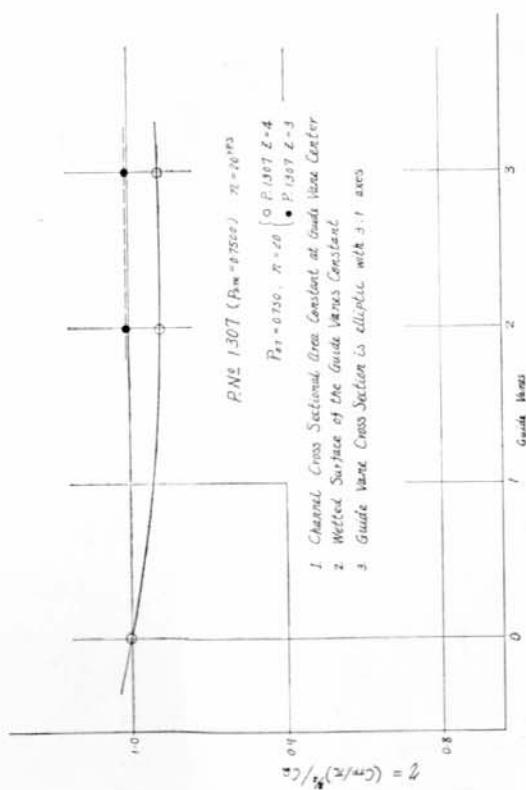


Fig. 2.29 Guide Vanes

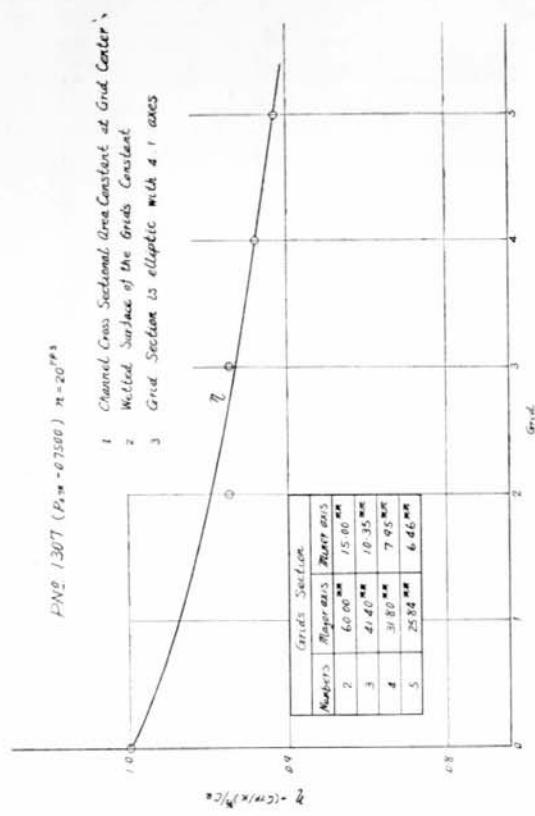


Fig. 2.31 Grids

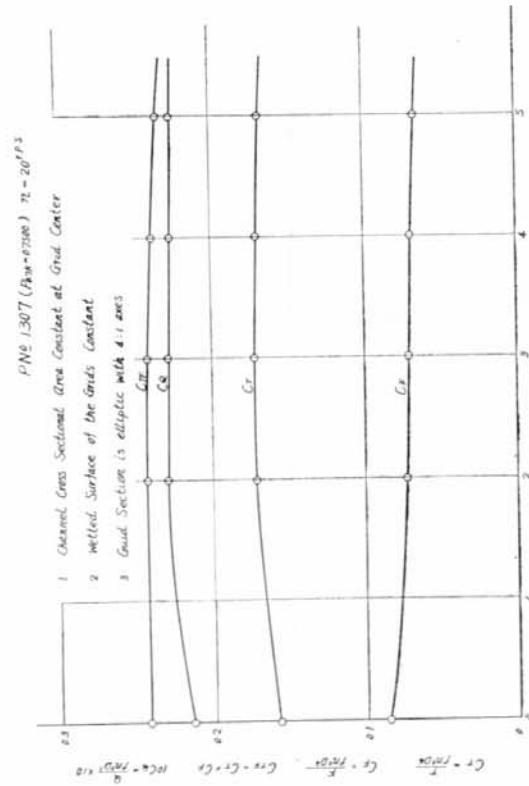


Fig. 2.30 Grids

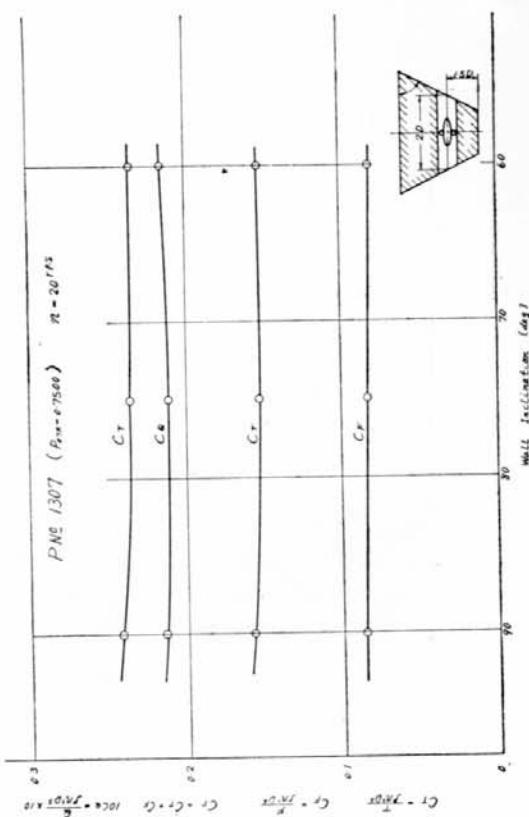


Fig. 2.32 Duct Wall Inclination

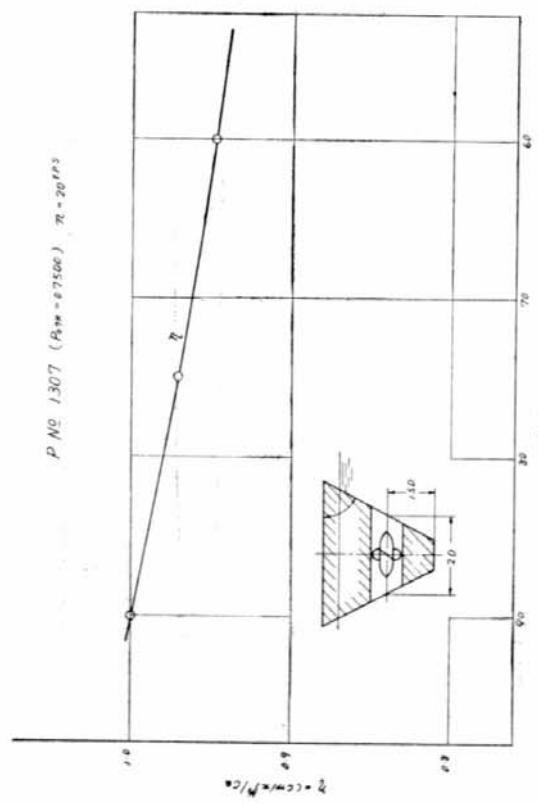


Fig. 2.33 Duct Wall Inclination

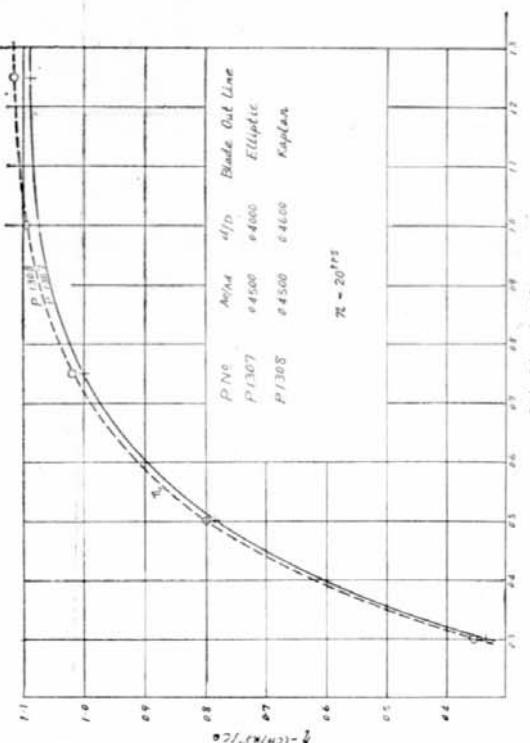


Fig. 2.35 Blade Outline

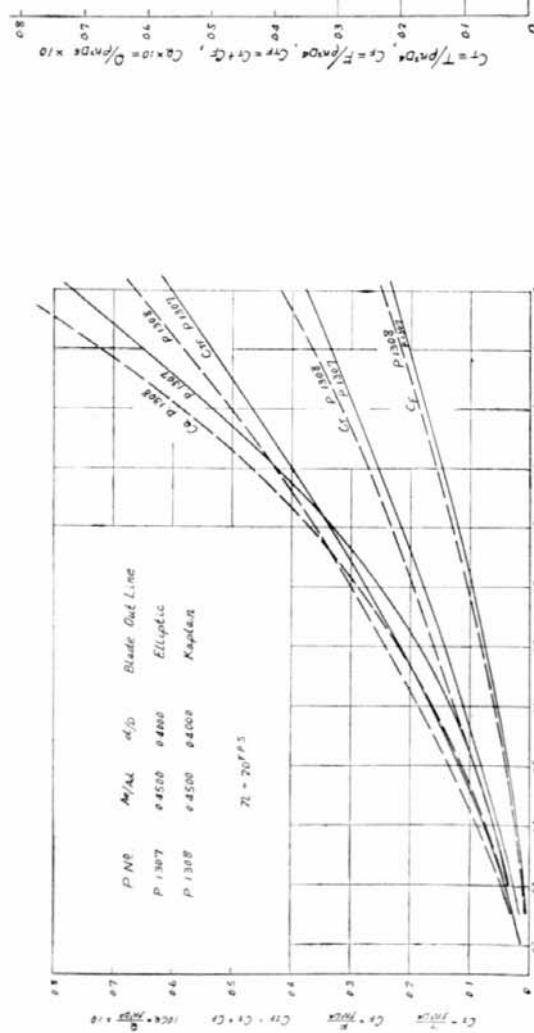


Fig. 3.34 Blade Outline

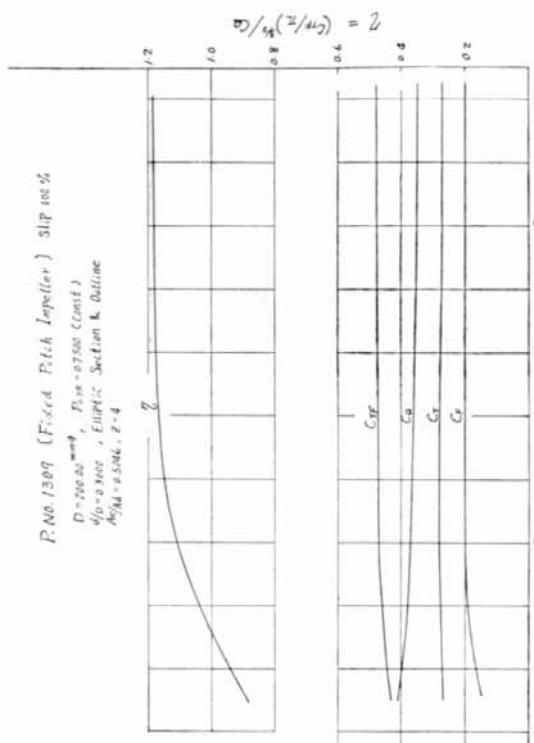


Fig. 2.36 Fixed Pitch Impeller(P. No. 1309)

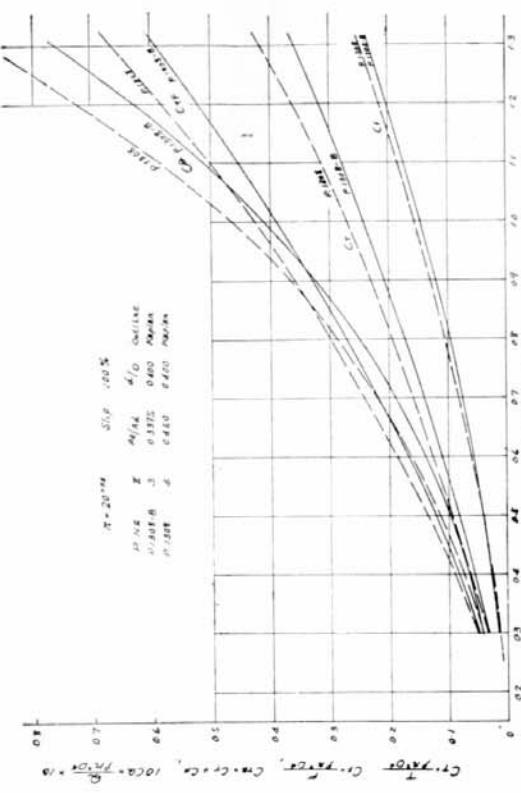


Fig. 2.39 Comparison of Blade Numbers

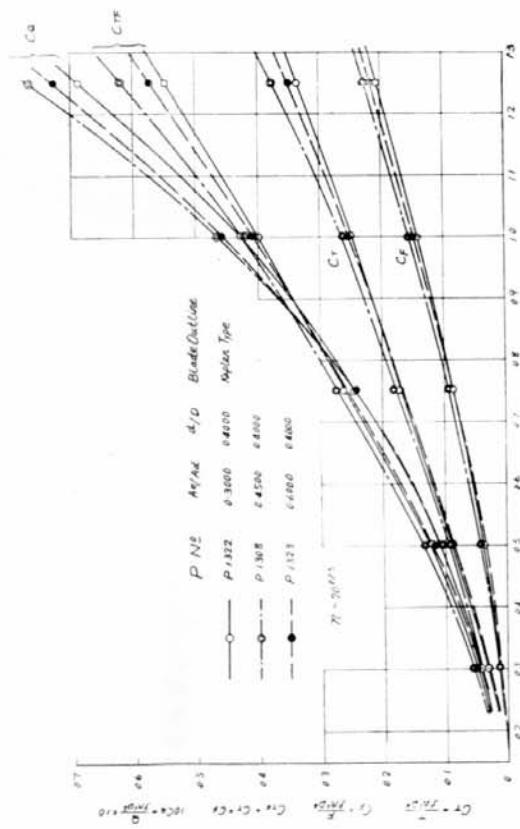


Fig. 2.37 Area Ratio Series

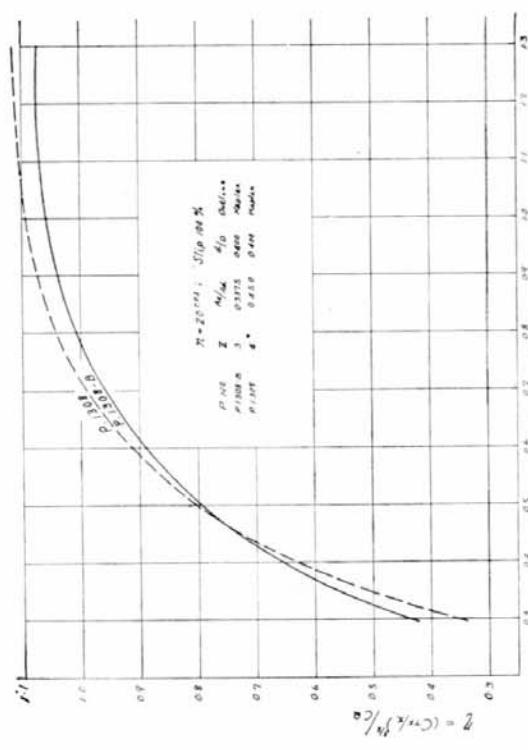


Fig. 2.40 Comparison of Blade Numbers

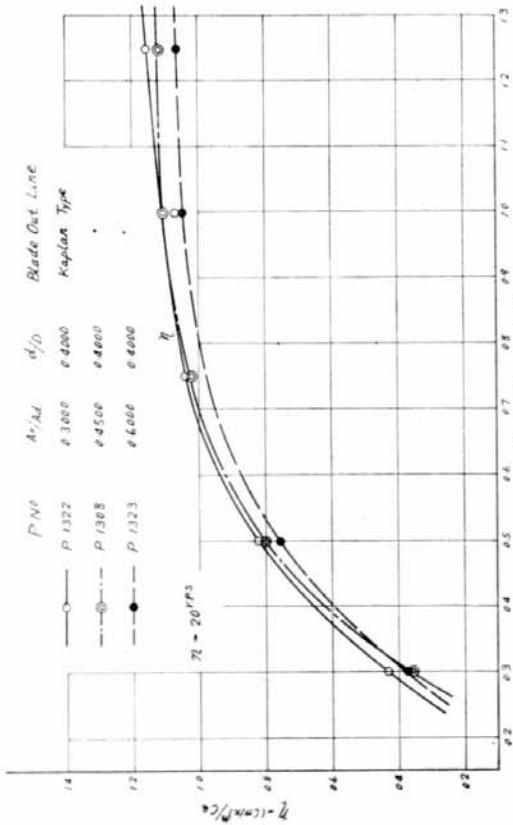


Fig. 2.38 Area Ratio Series

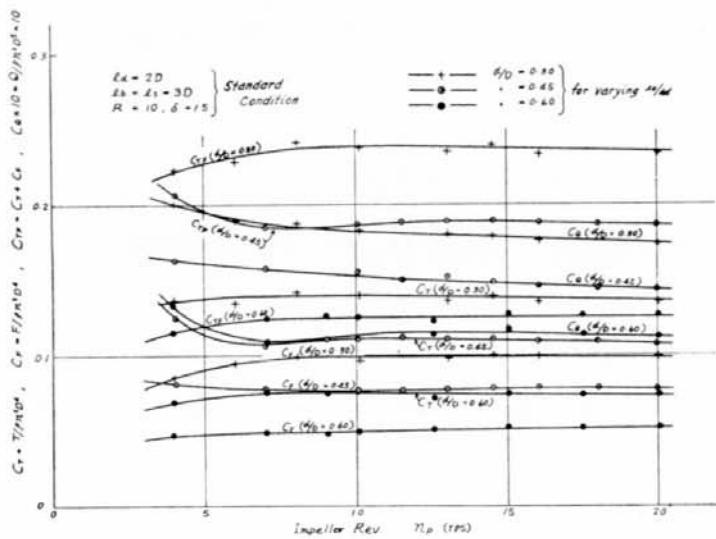


Fig. 2.41 Boss Ratio Series(P. No. 1309)

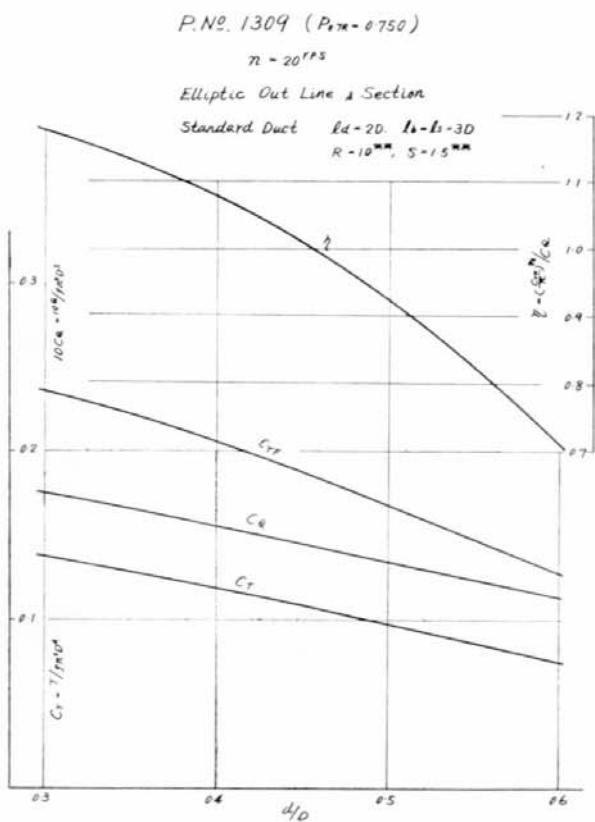


Fig. 2.42 Boss Ratio Series

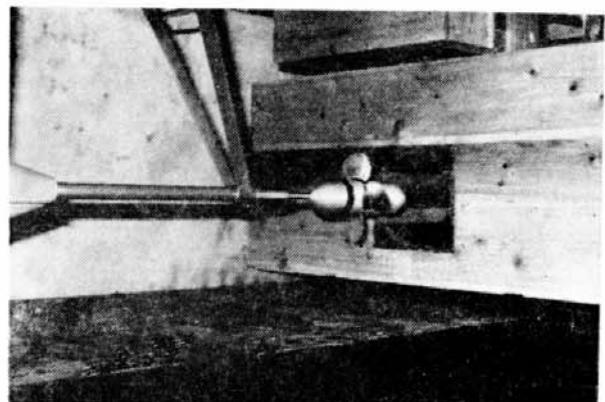


Fig. 2.43 Impeller Test Instrument (a)

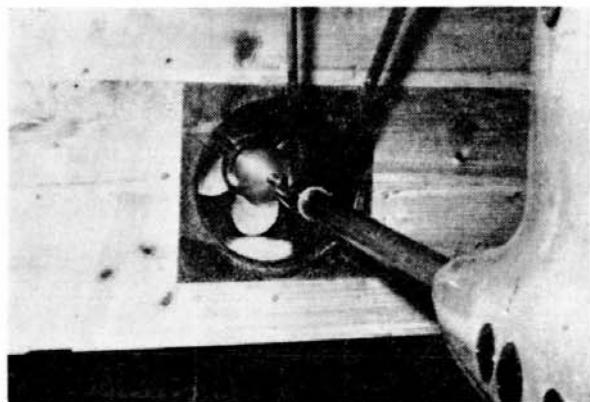


Fig. 2.43 Impeller Test Instrument (b)

M N° 1379

## Super Tanker

Model	Ship
LPP 6000 m	LPP 190.50 m
BIMSKIN 81720 mm	BIMSKIN 25946 m
DIMSKIN 33180 mm	DIMSKIN 10535 m
$\Delta_a$ 1300.15 kg	$\Delta_a$ 42709 t

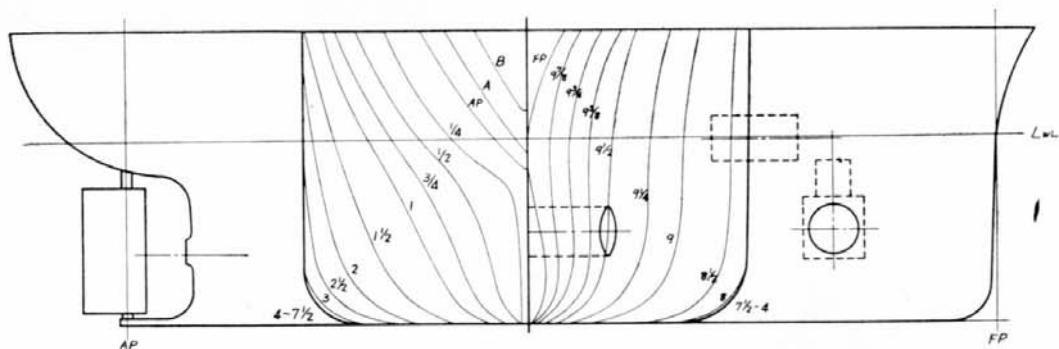


Fig. 3.1 Ship Model(1)

M N<sup>o</sup> 1463

## *High Speed Liner*

<i>Model</i>	<i>Ship</i>
LPP	150.000 m
BINSKIN	21.428 m
DIMSKIN	8.930 m
DA	18.404 t
LPP	6.000 m
BINSKIN	85720 m
DIMSKIN	35720 m
DA	1146.29 t

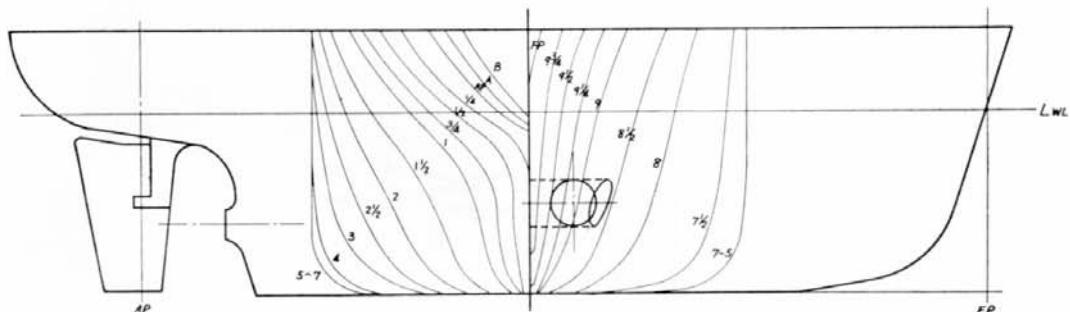


Fig. 3.2 Ship Model(2)

M. N° 1512

## Cable Layer

Model		Ship	
Lpp	6 000 $m^2$	Lpp	10 500 $m^2$
BxSxL	916.00 $m^3$	Bread	16 000 $m^3$
dim. sea	343.71 $m^2$	dez	6 000 $m^3$
Δ <sub>2</sub>	120700 $t^2$	Δ <sub>2</sub>	6,650 $t$

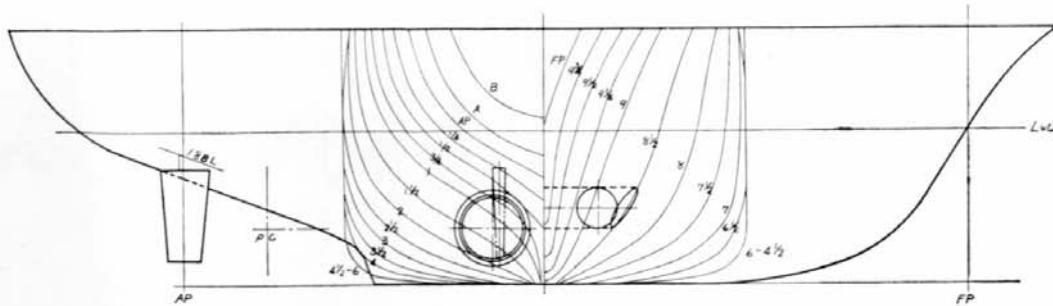


Fig. 3.3 Ship Model(3)

M/N#	Ship Form	L <sub>pp</sub>	d	t <sub>g</sub> /L <sub>pp</sub>	L <sub>ad</sub>	Remarks
1379	Sugar Tanker	6.000	331.8	0.050	0.500	
-	-	-	-	0.070	0.600	Star duct
1463	High Speed Liner	6.000	357.2	0.135	0.450	NE 1 duct
-	-	-	-	0.170	-	NE 2 duct
1512	Cable Layer	6.000	343.7	0.140	0.500	

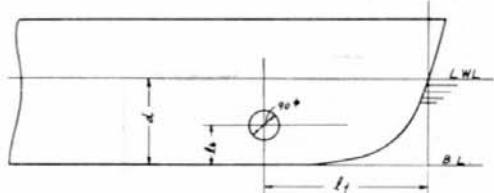


Fig. 3.4 Duct Position on Ship Model

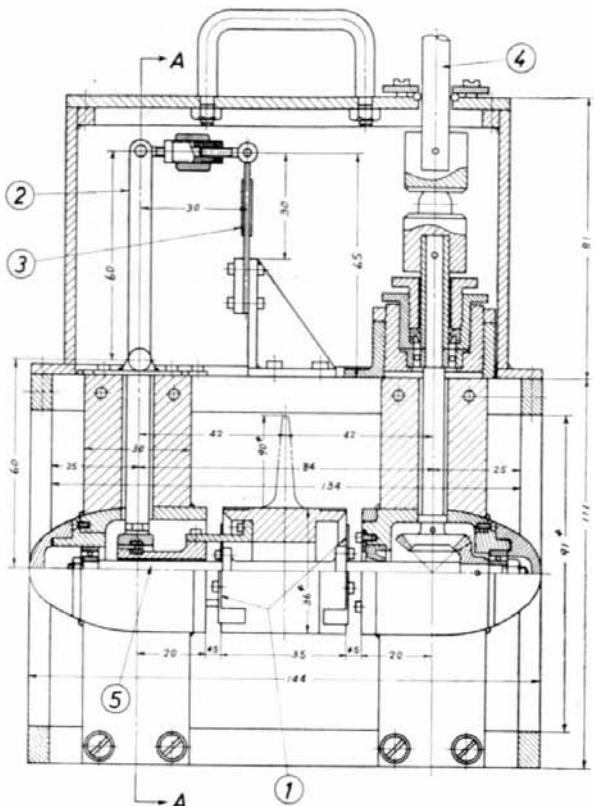


Fig. 3.5 Model Side Thruster Unit

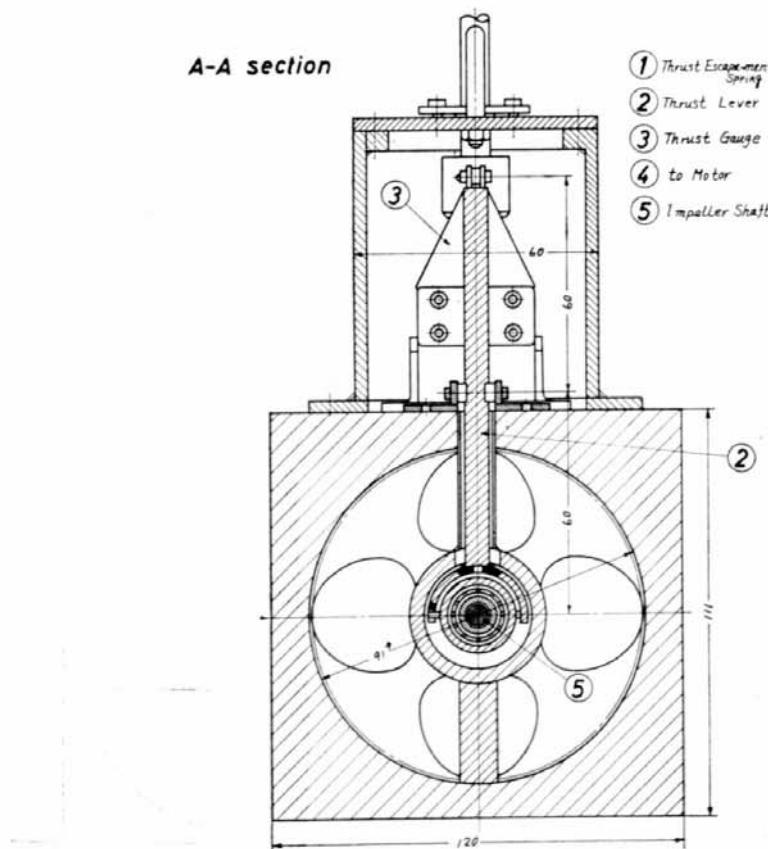


Fig. 3.6 Model Side Thruster Unit

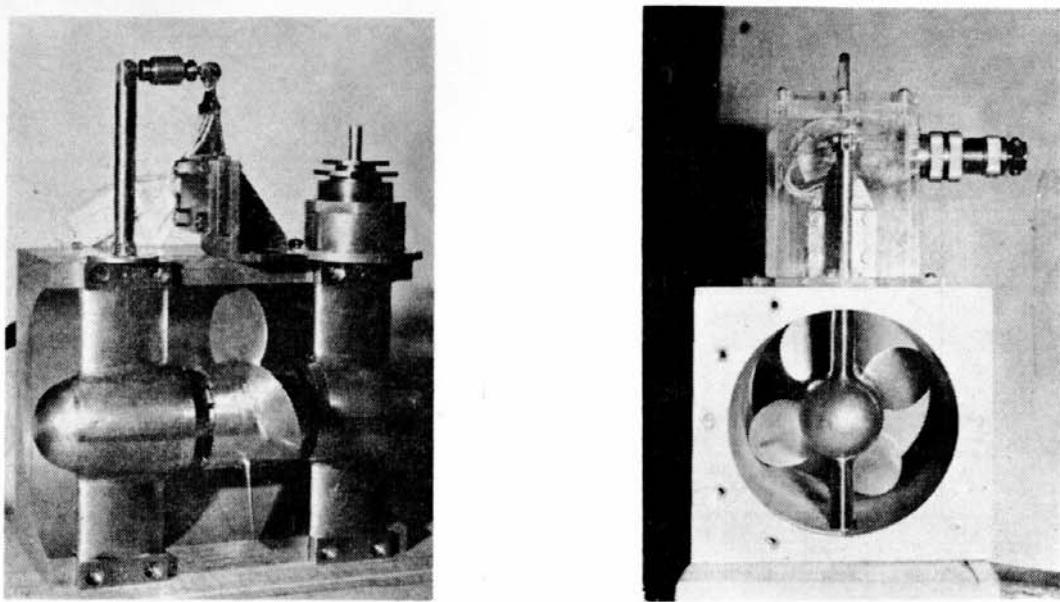


Fig. 3.7 Model Side Thruster Unit

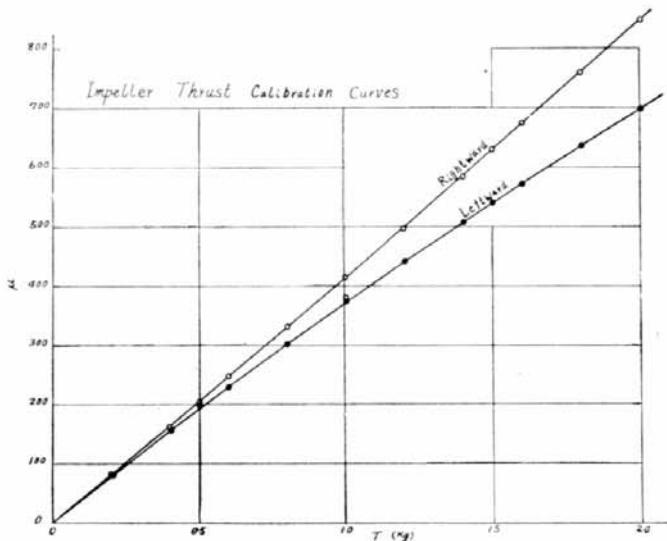


Fig. 3.8 Calibration Curves of Thrust Gauge

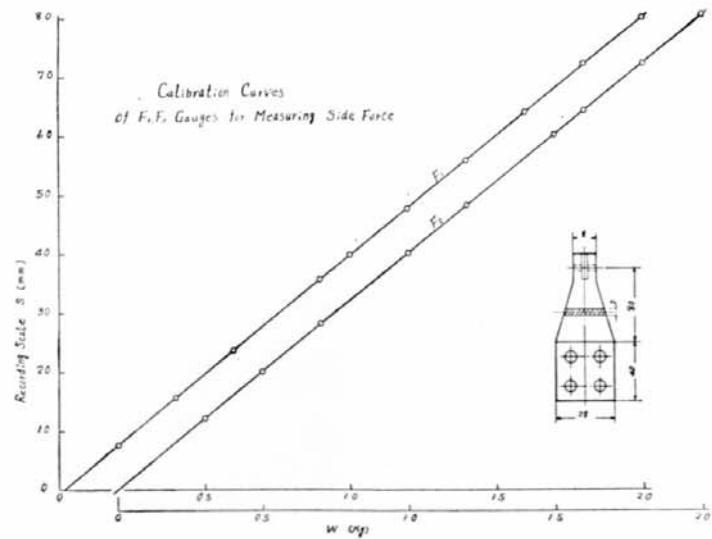


Fig. 3.9 Calibration Curves of F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> Gauge

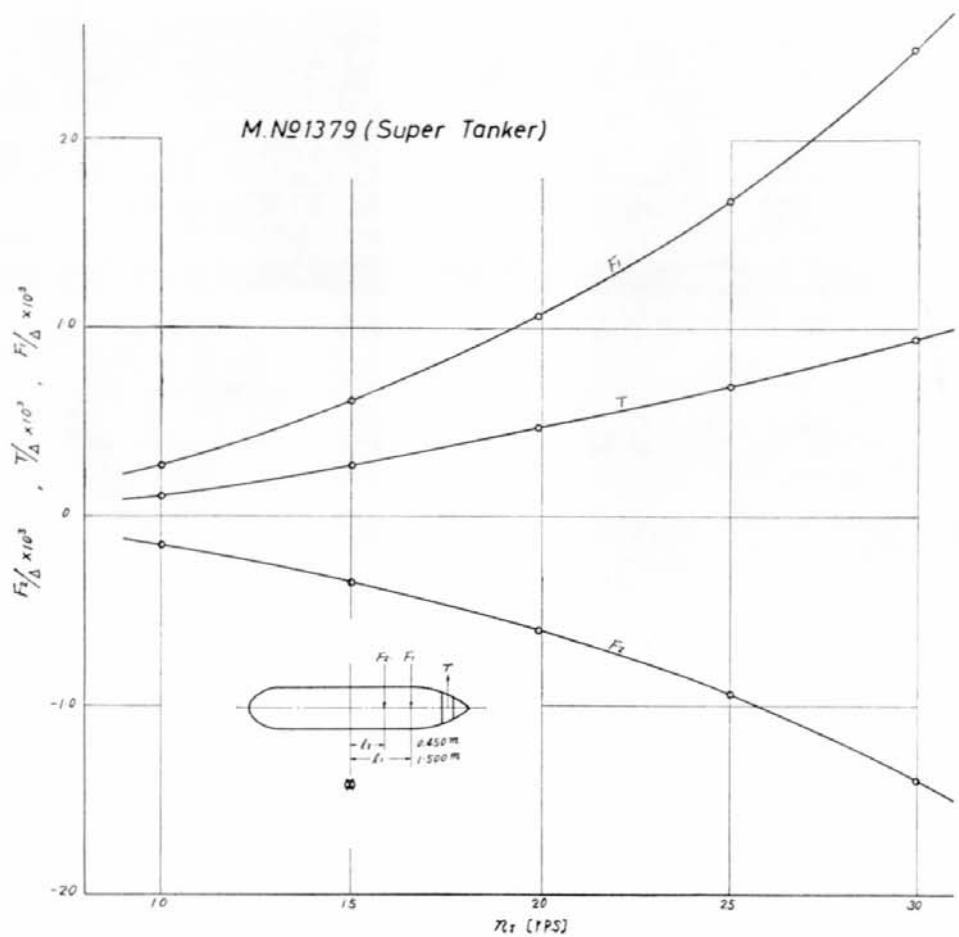


Fig. 3.10 Bow Thrusting in Open Water( $v=0$ )

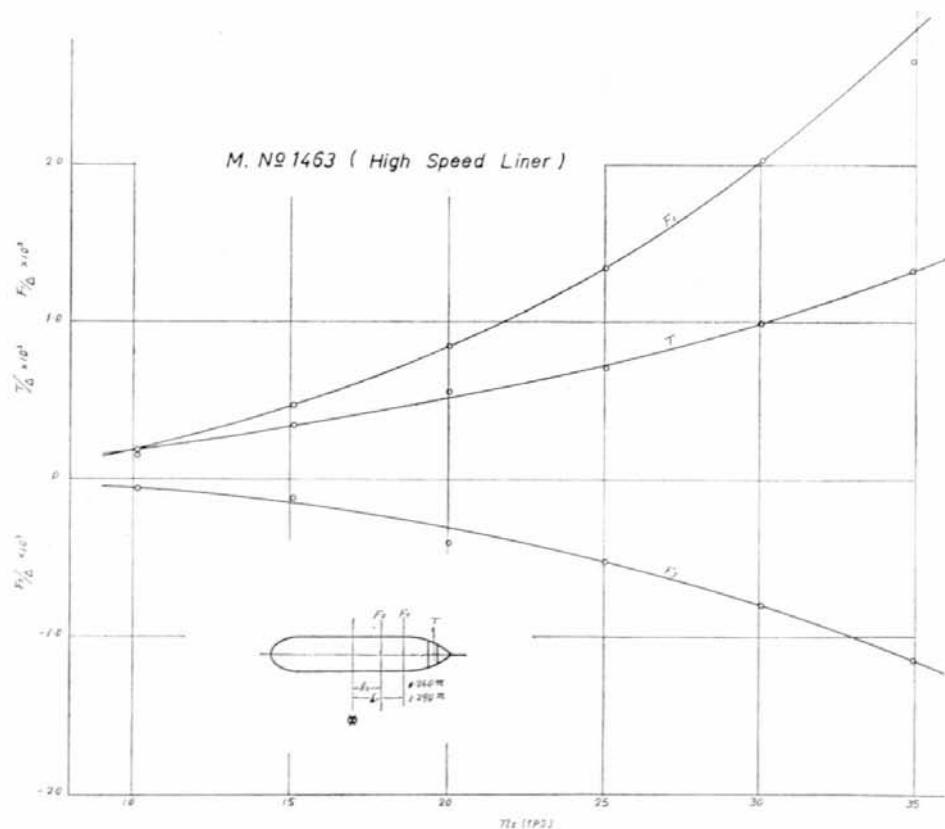


Fig. 3.11 Bow Thrusting in Open Water( $v=0$ )

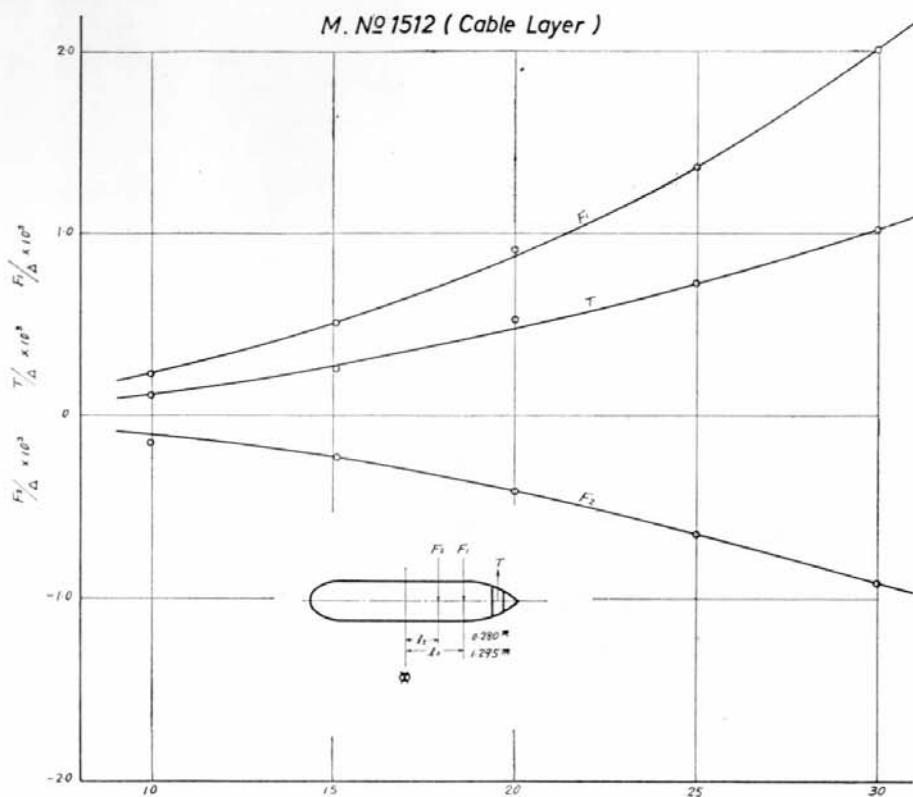


Fig. 3.12 Bow Thrusting in Open Water ( $v=0$ )

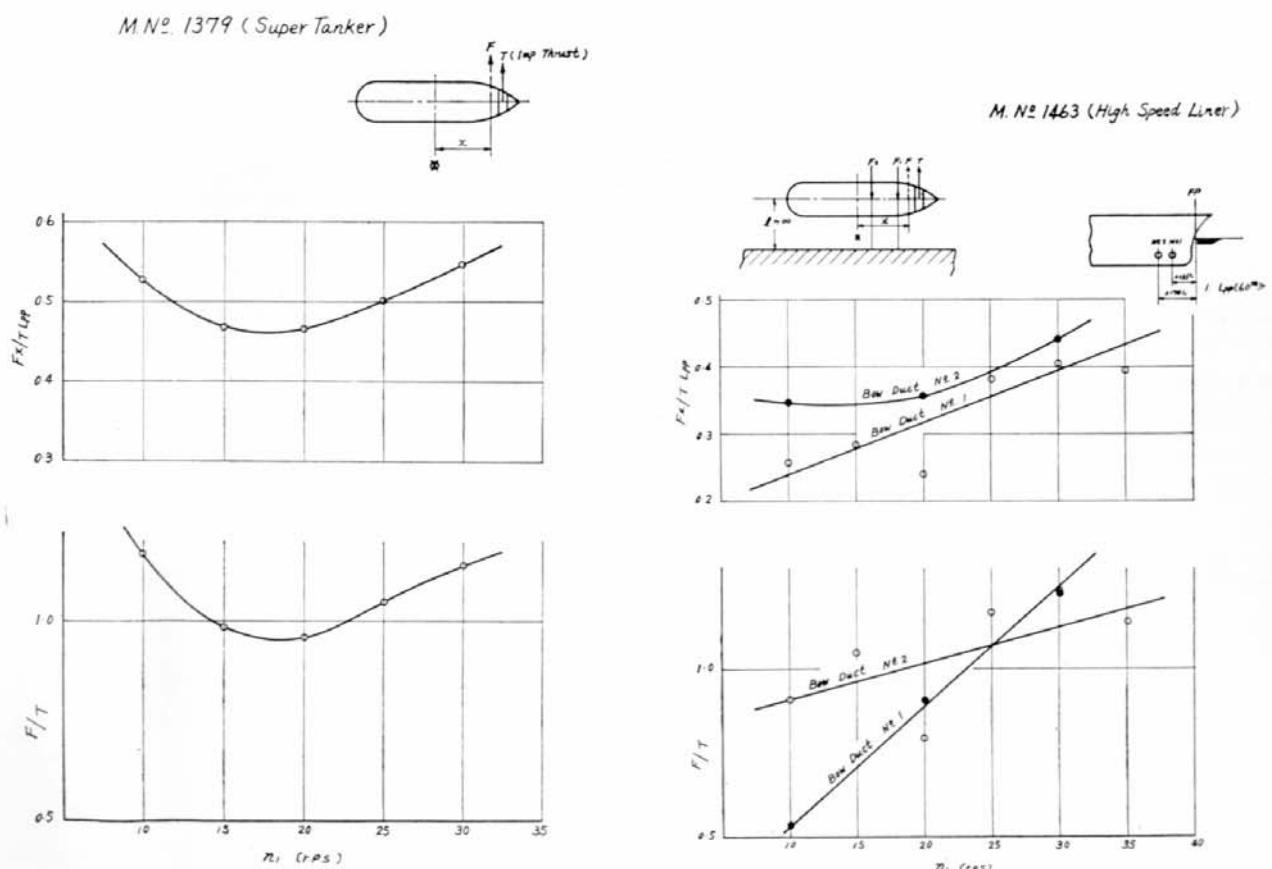


Fig. 3.13 Bow Thrusting in Open Water ( $v=0$ )

Fig. 3.14 Bow Thrusting in Open Water ( $v=0$ )

MN°1512 (Cable Layer)

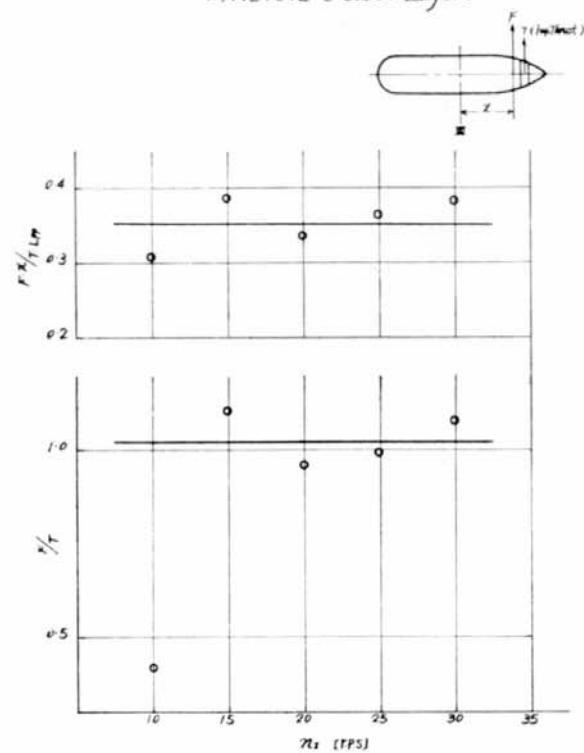


Fig. 3.15 Bow Thrusting in Open Water( $v=0$ )

M. N°1379 (Super Tanker)

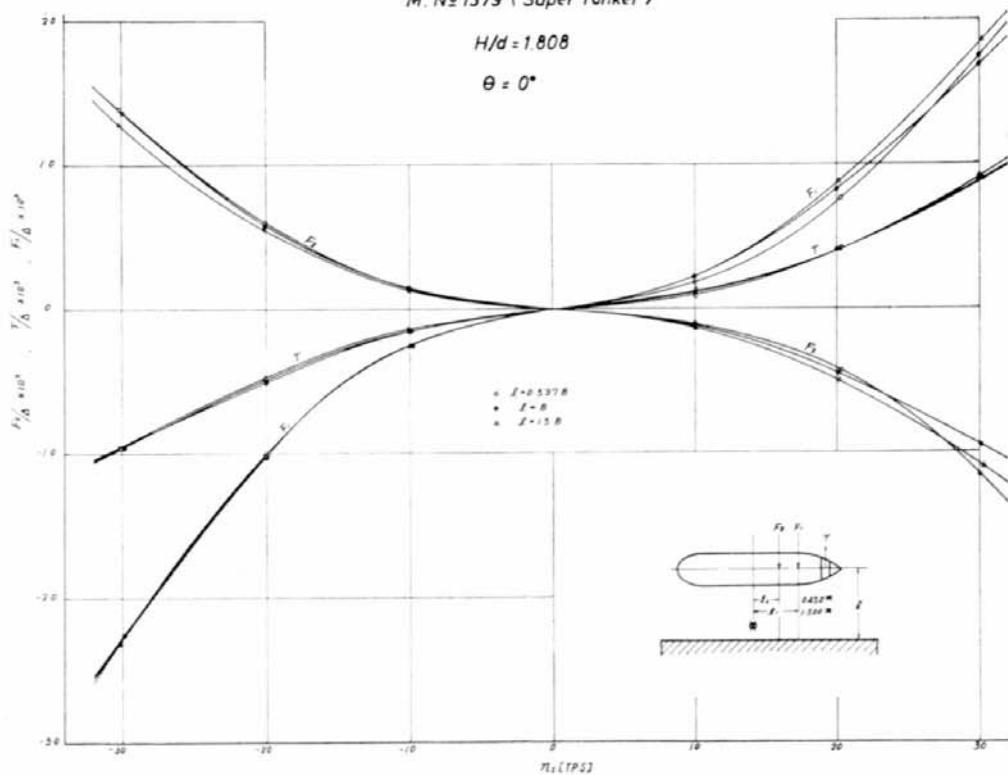


Fig. 3.16 Bow Thrusting near Wall & Bottom( $v=0$ )

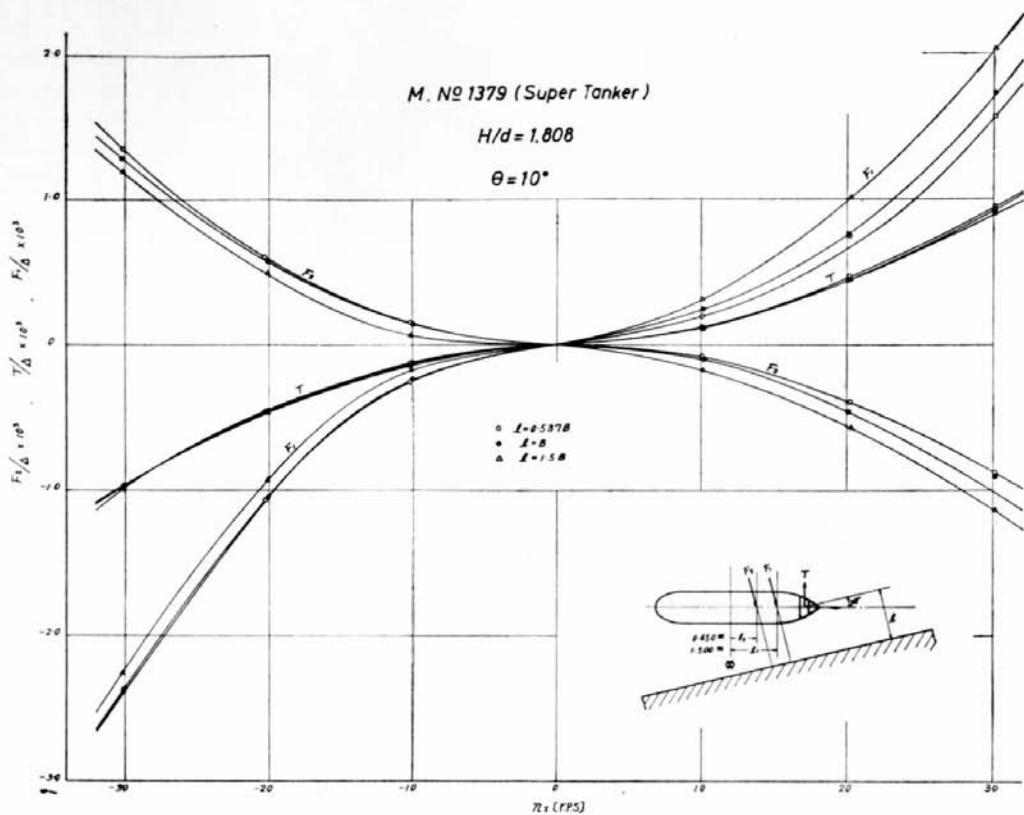


Fig. 3.17 Bow Thrusting near Wall & Bottom( $v=0$ )

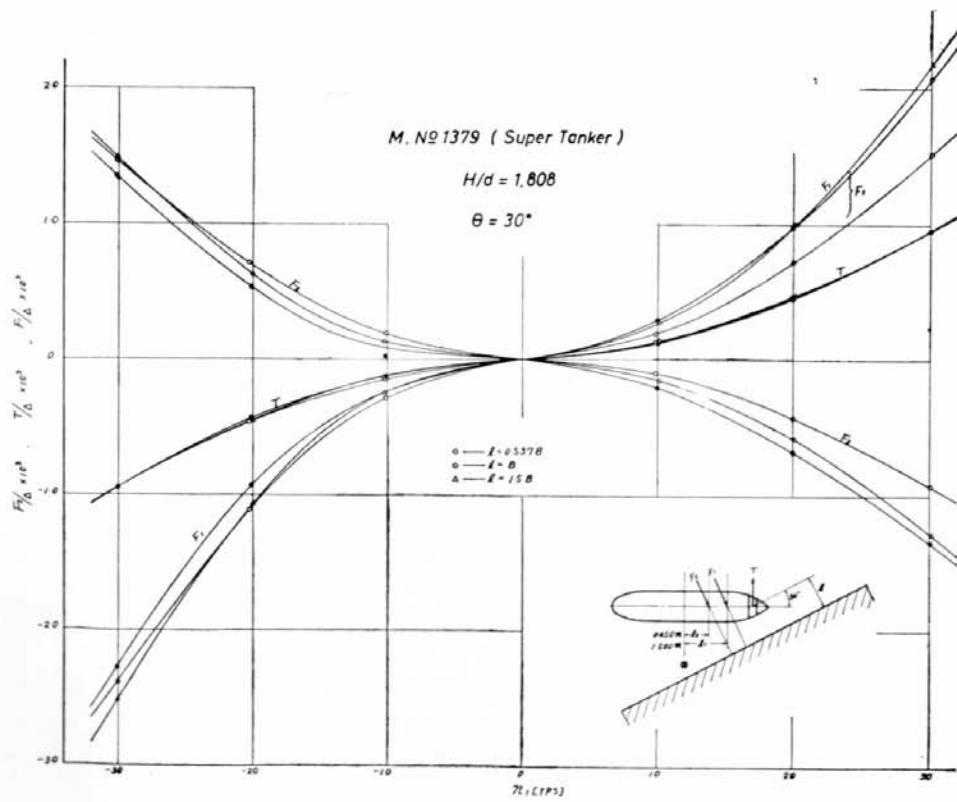


Fig. 3.18 Bow Thrusting near Wall & Bottom( $v=0$ )

M N° 1379 (Super Tanker)  $n_t = 250 \text{ rps}$

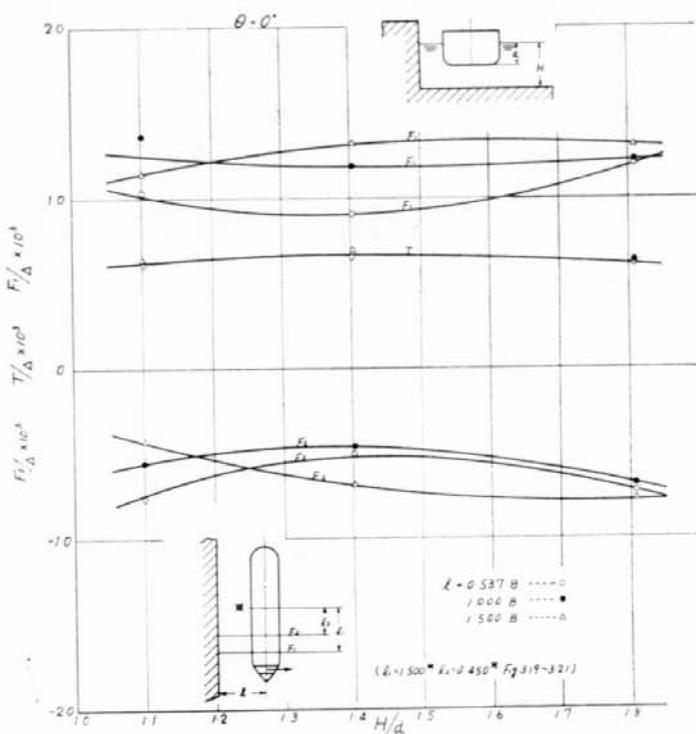


Fig. 3.19 Bow Thrusting near Wall & Bottom( $v=0$ )

M N° 1379 (Super Tanker)

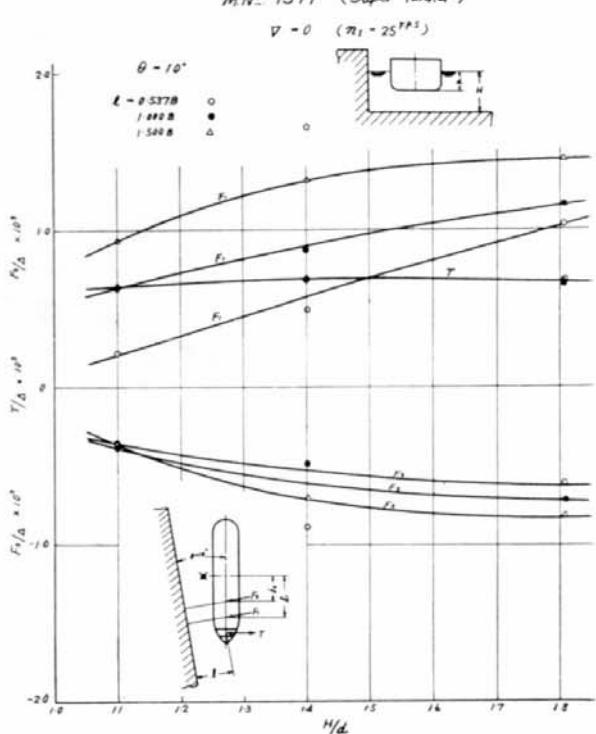


Fig. 3.20 Bow Thrusting near Wall & Bottom

M N° 1379 (Super Tanker)

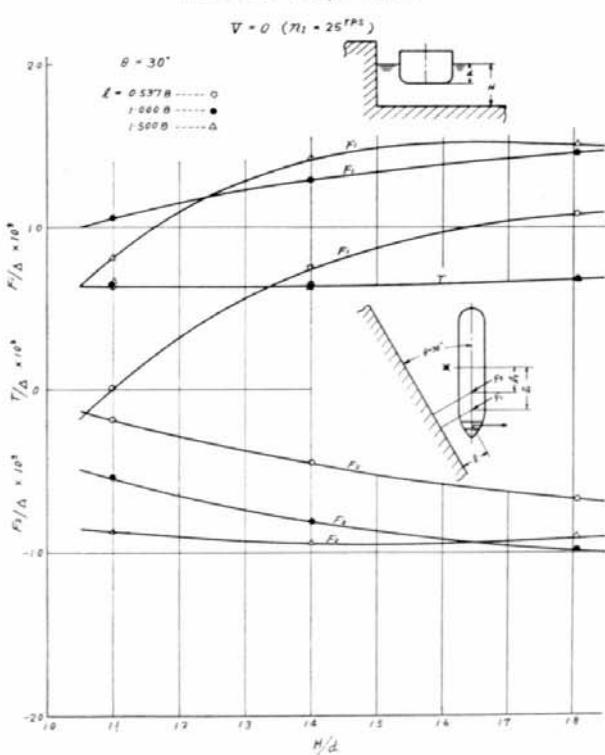


Fig. 3.21 Bow Thrusting near Wall & Bottom

M N° 1379 (Super Tanker)

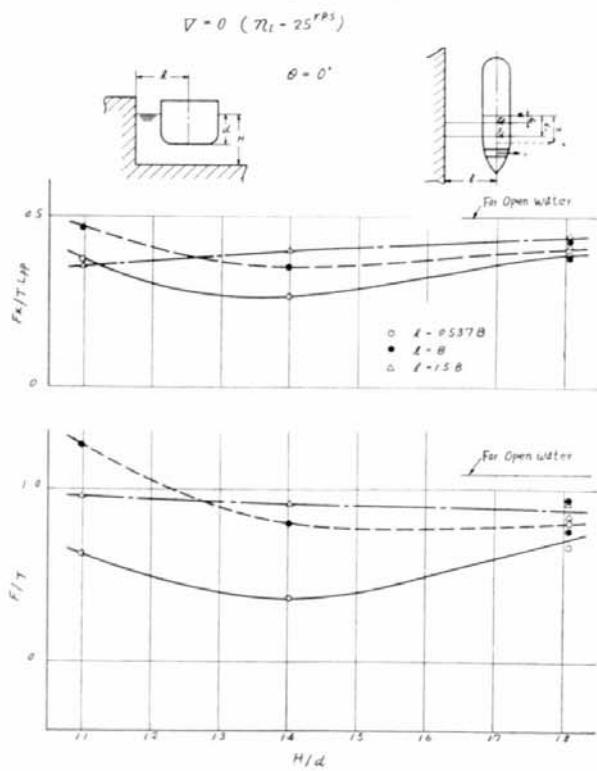


Fig. 3.22 Bow Thrusting near Wall & Bottom

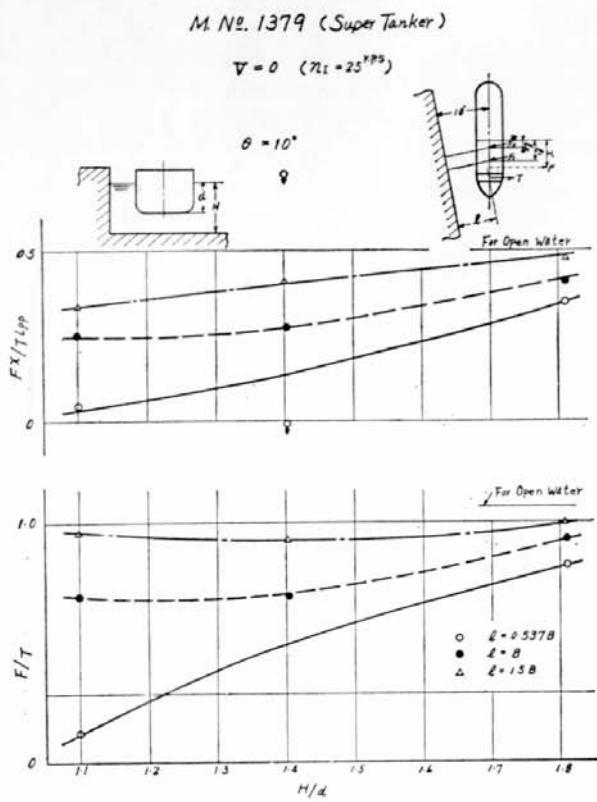


Fig. 3.23 Bow Thrusting near Wall & Bottom

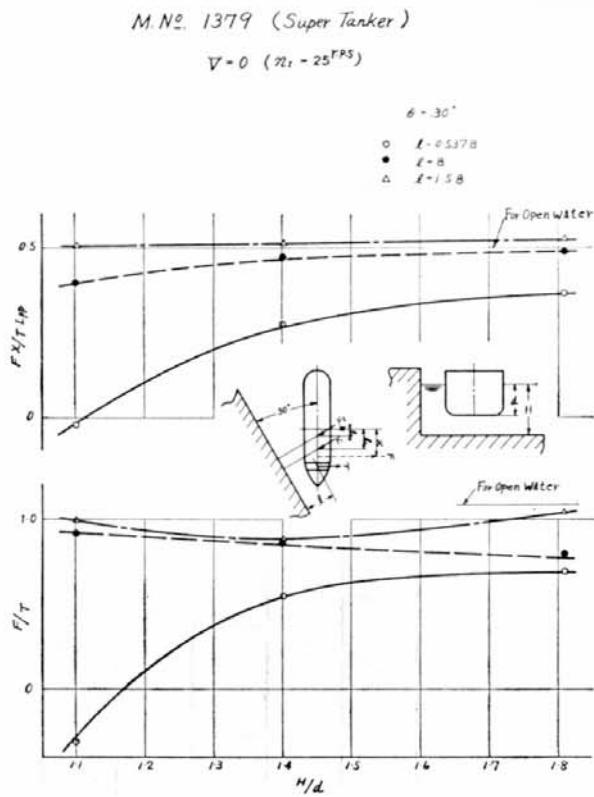


Fig. 3.24 Bow Thrusting near Wall & Bottom

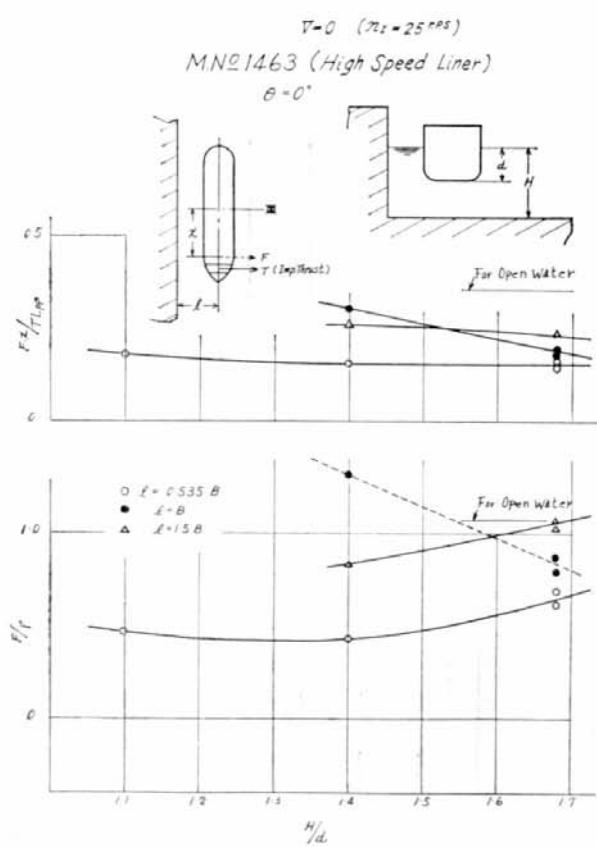


Fig. 3.25 Bow Thrusting near Wall & Bottom

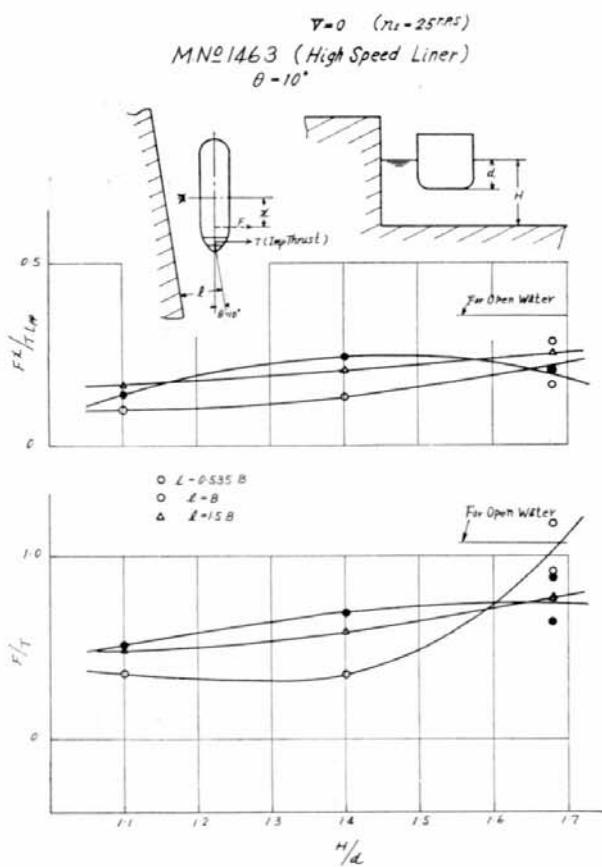


Fig. 3.26 Bow Thrusting near Wall & Bottom

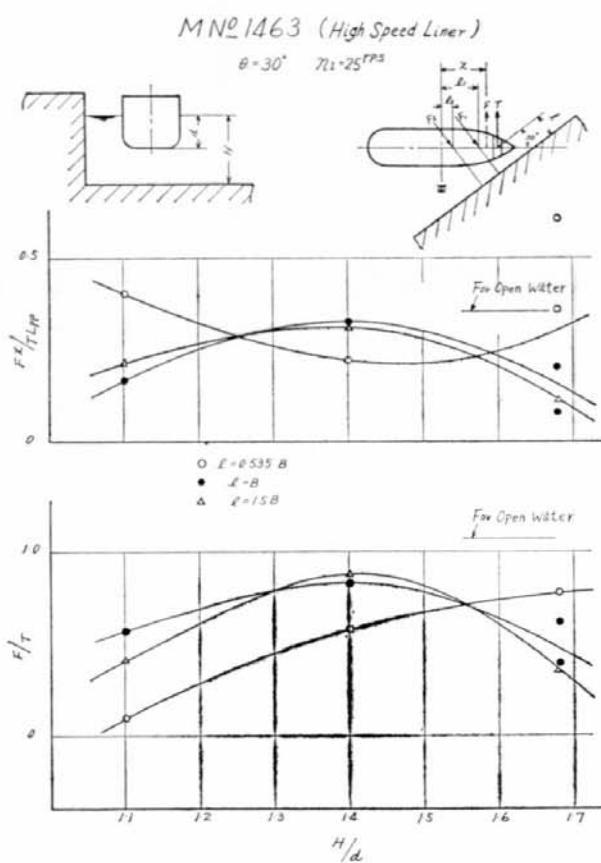


Fig. 3.27 Bow Thrusting near Wall & Bottom

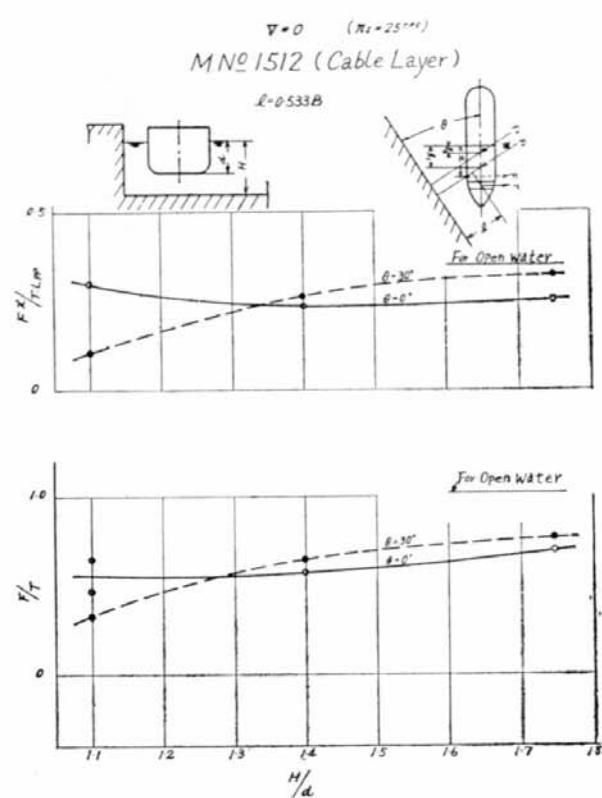


Fig. 3.28 Bow Thrusting near Wall & Bottom

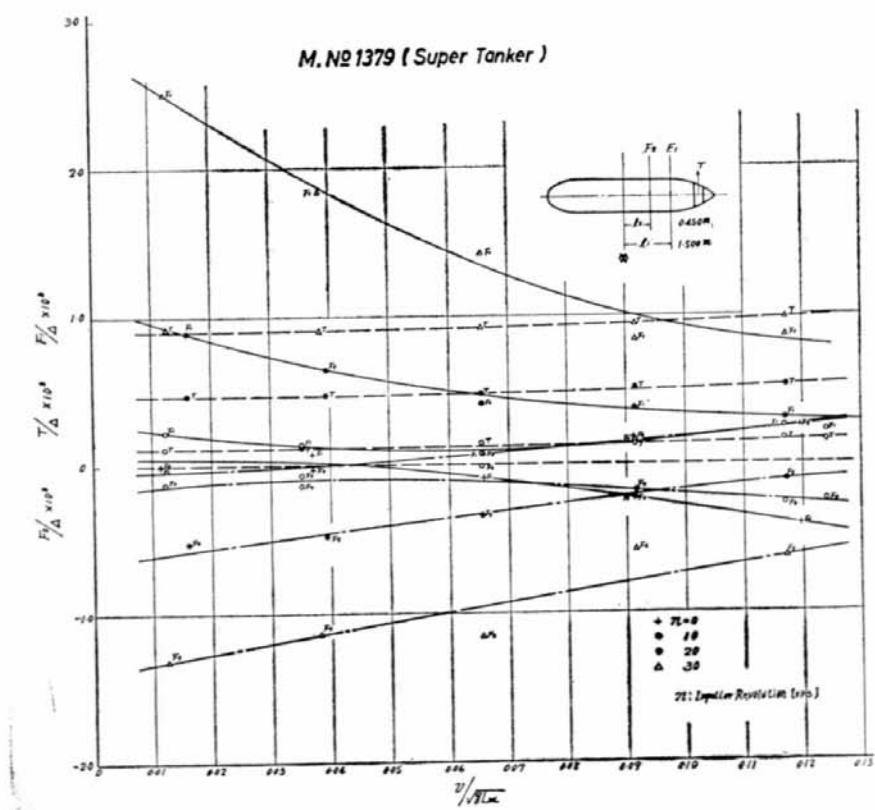


Fig. 3.29 Bow Thrusting in Open Water ( $v \neq 0$ )

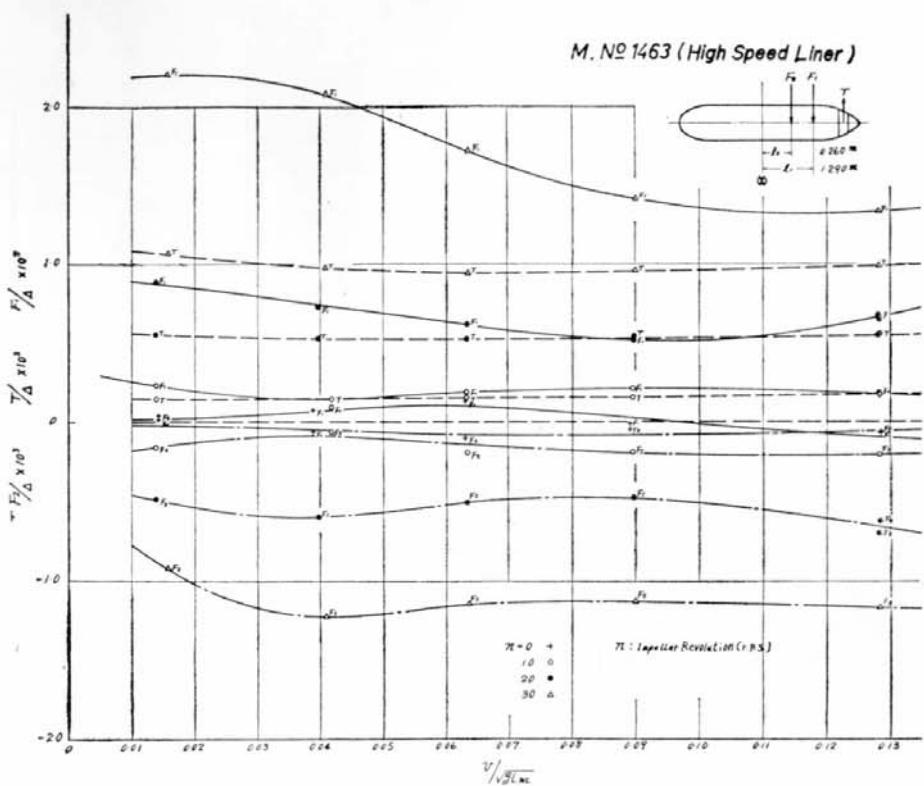


Fig. 3.30 Bow Thrusting in Open Water( $v \neq 0$ )

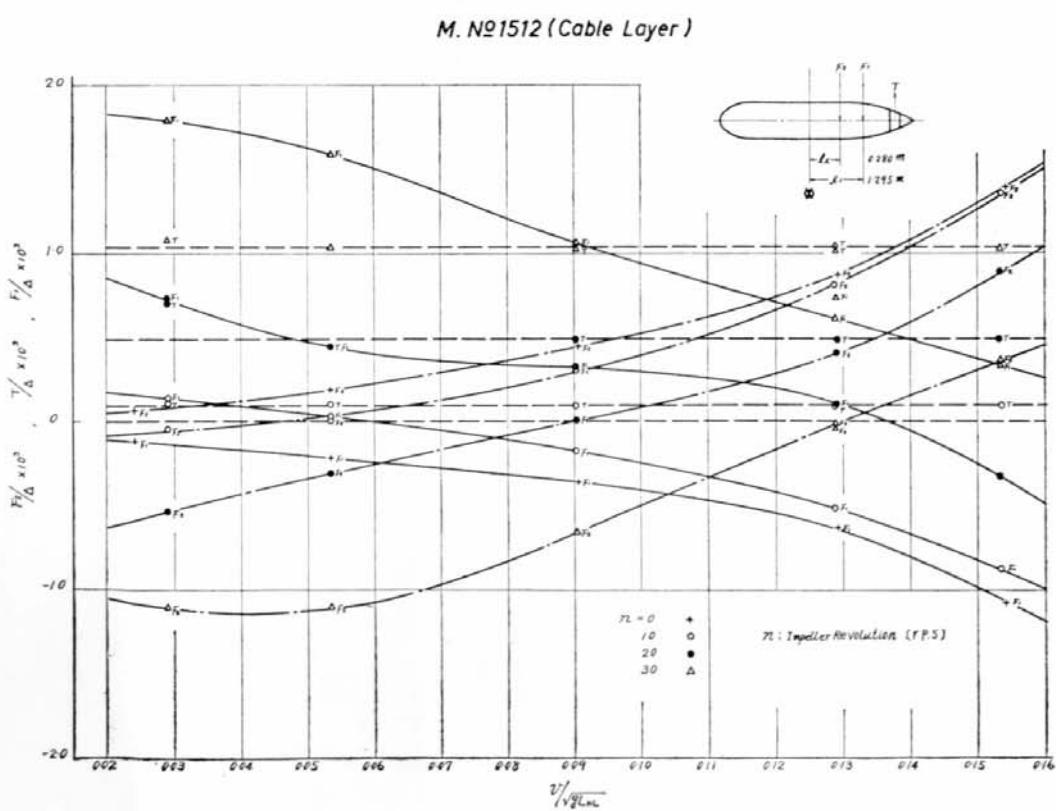
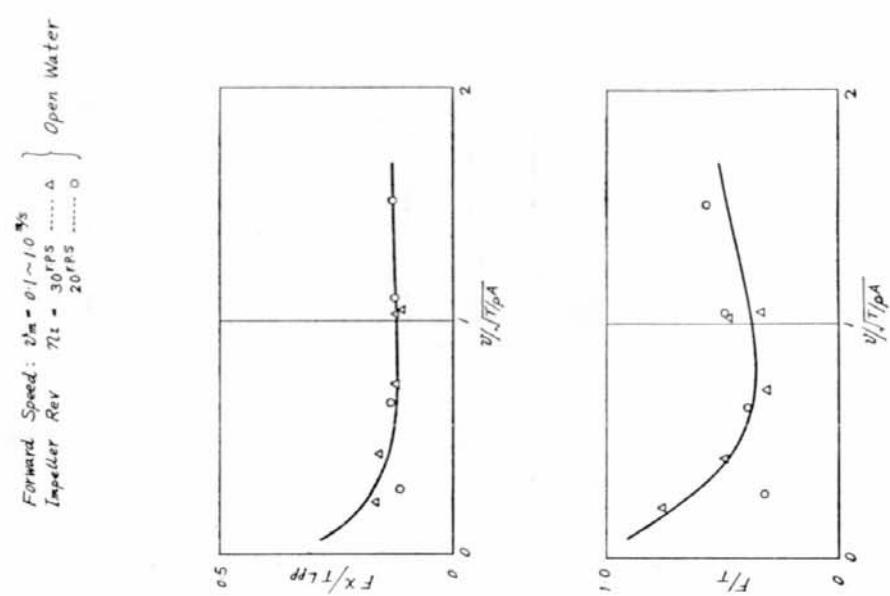
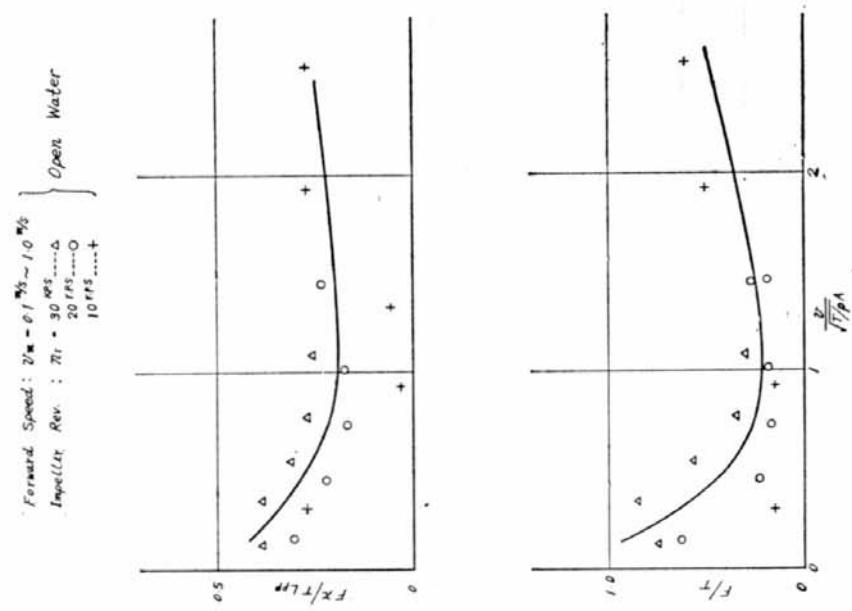


Fig. 3.31 Bow Thrusting in Open Water( $v \neq 0$ )

M No 1512 (Cable Layer)



M No. 1463 (High Speed Liner)



M No. 1379 (Super Tanker)

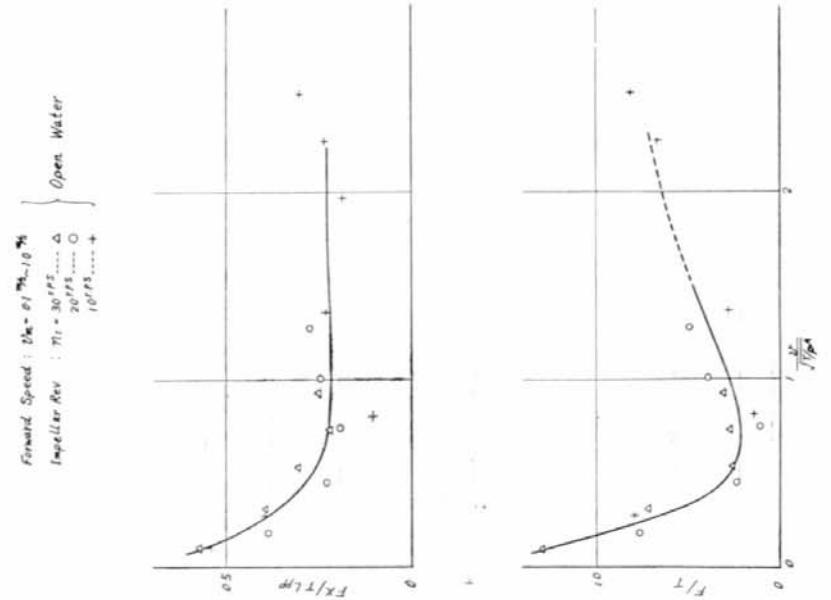


Fig. 3.32 Bow Thrusting in Open Water( $v \neq 0$ )

Fig. 3.33 Bow Thrusting in Open Water( $v \neq 0$ )

Fig. 3.34 Bow Thrusting in Open Water( $v \neq 0$ )

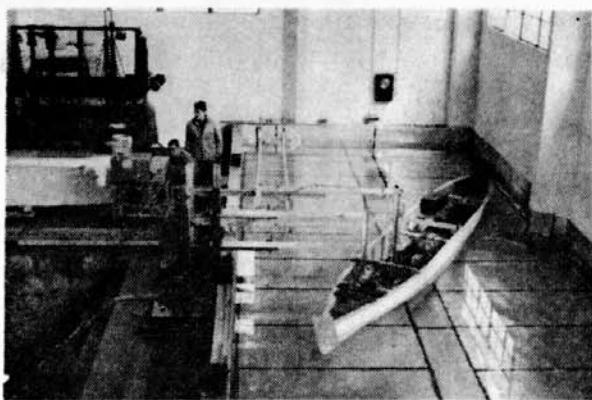


Fig. 3.35 Sideways-Thrust Measurement near Wall & Bottom  
M. No. 1463(High Speed Liner)

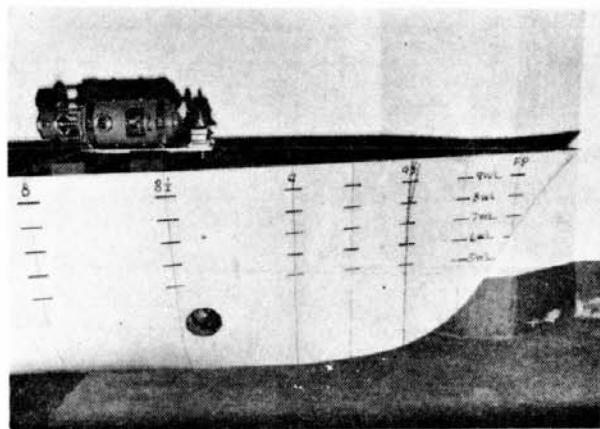


Fig. 3.36 Model Side Thruster Unit Installed in M. No. 1512  
M. No. 1512(Cable Layer)

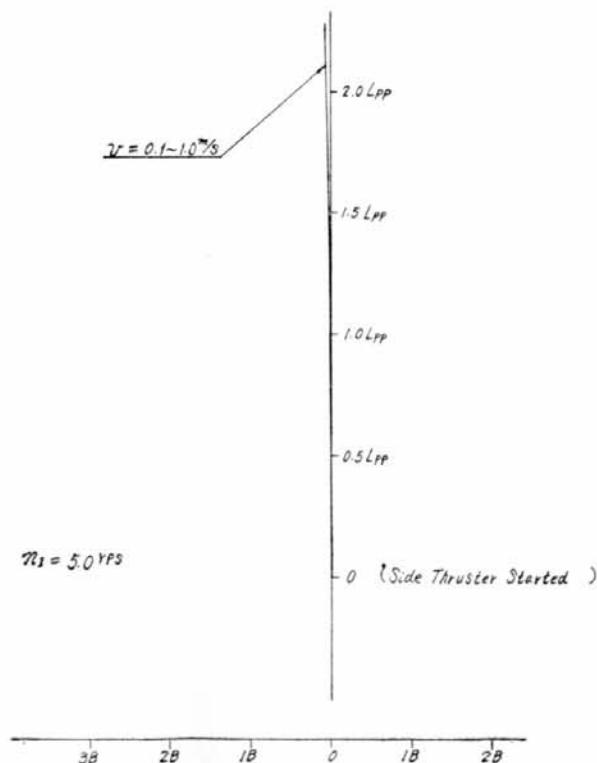


Fig. 3.37 Side Thrusting in Open Water  
M. No. 1463(High Speed Liner)

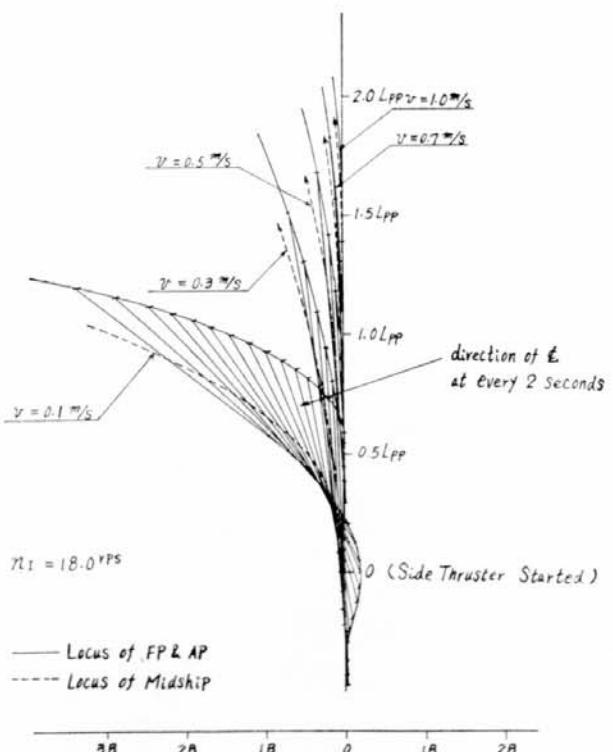


Fig. 3.38 Side Thrusting in Open Water  
M. No. 1463(High Speed Liner)

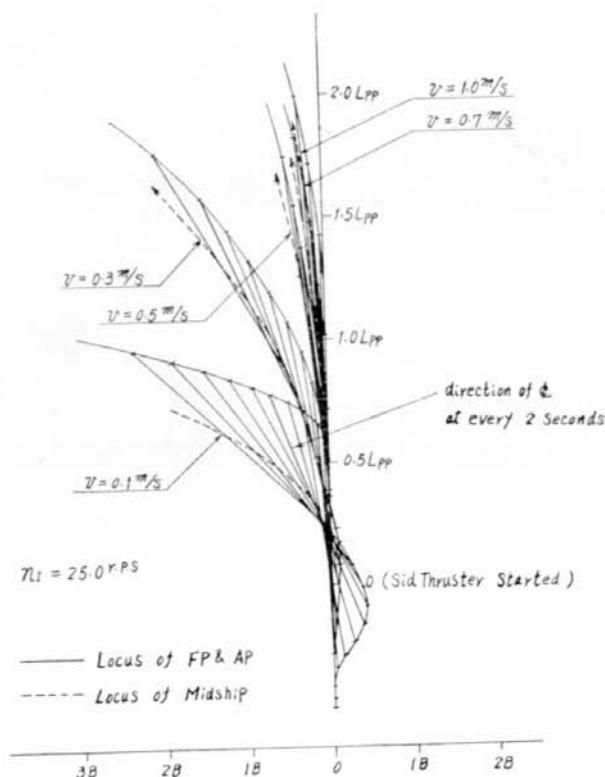


Fig. 3.39 Side Thrusting in Open Water  
M. No. 1463(High Speed Liner)

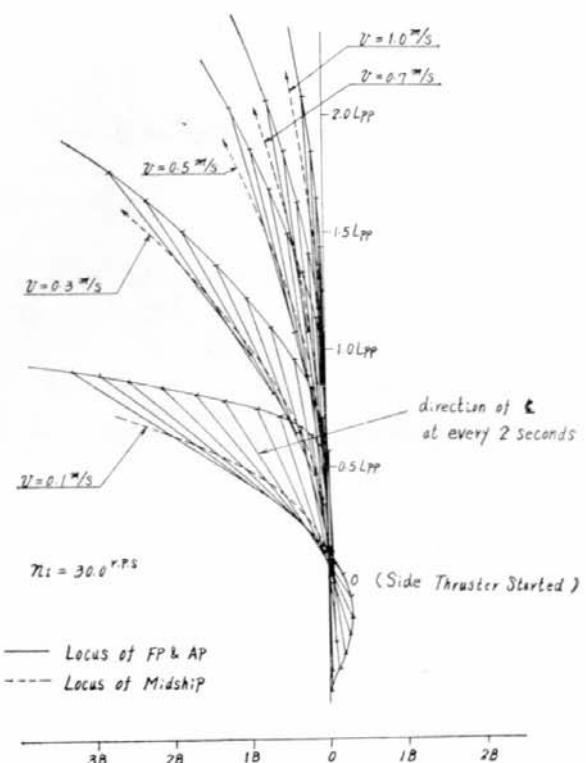


Fig. 3.40 Side Thrusting in Open Water  
M. No. 1463(High Speed Liner)



Fig. 3.41 Side Thrusting in Open Water  
M. No. 1463(High Speed Liner)

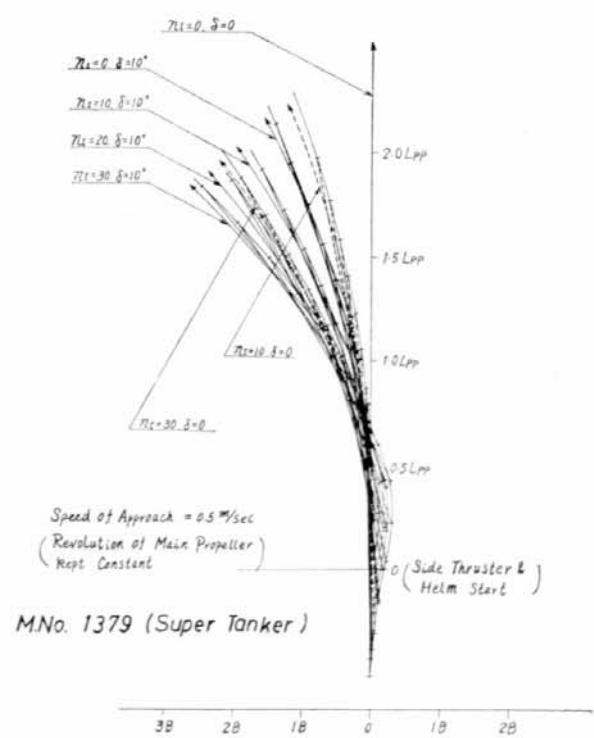


Fig. 3.42 Roll-in Sequence due to Side Thruster

**M.No. 1379 (Super Tanker)**

Rev<sup>n</sup> of Thruster Imp<sup>x</sup>;  $n_1 \approx 25$  rps  
 Rev<sup>n</sup> of Main Prop<sup>x</sup>;  $n = 0$   
 Rudder Angle;  $\delta = 0$

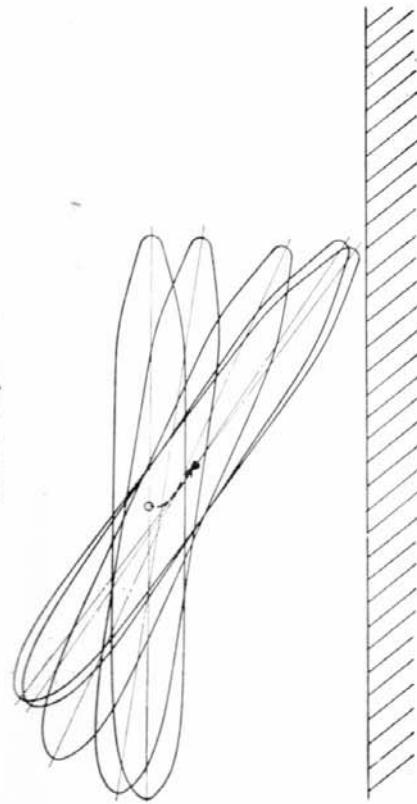


Fig. 3.43 Test for Going alongside a Pier(A)

**M.No. 1512 (Cable Layer)**

Rev<sup>n</sup> of Thruster Imp<sup>x</sup>;  $n_1 \approx 25$  rps  
 Rev<sup>n</sup> of Main Prop<sup>x</sup>;  $n = 0$   
 Rudder Angle;  $\delta = 0$



Fig. 3.44 Test for Going alongside a Pier(A)

**M.No. 1463 (High Speed Liner)**

Rev<sup>n</sup> of Thruster Imp<sup>x</sup>;  $n_1 \approx 25$  rps  
 Rev<sup>n</sup> of Main Prop<sup>x</sup>;  $n = 0$   
 Rudder Angle;  $\delta = 0$

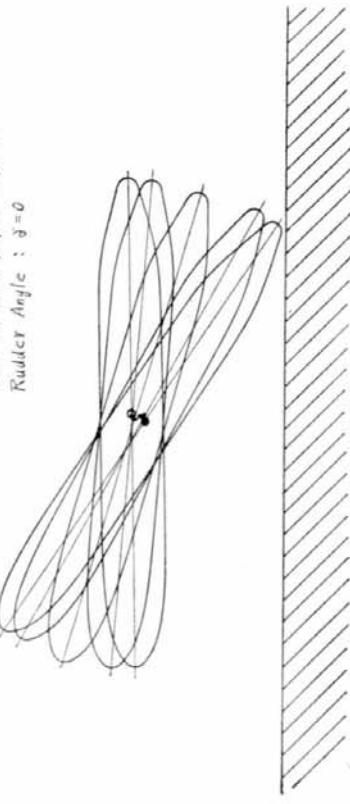


Fig. 3.45 Test for Going alongside a Pier(A)

**M.No. 1379 (Super Tanker)**

Rev<sup>n</sup> of Thruster Imp<sup>x</sup>;  $n_1 \approx 25$  rps  
 Speed of Approach;  $v = 0.5 \frac{v_{free}}{2}$   
 Rudder Angle;  $\delta = 0$

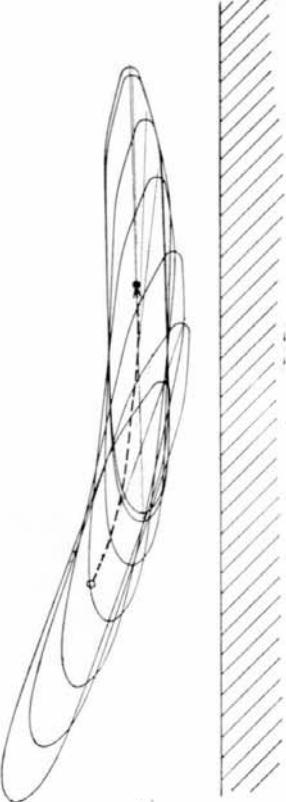


Fig. 3.46 Test for Going alongside a Pier(A)

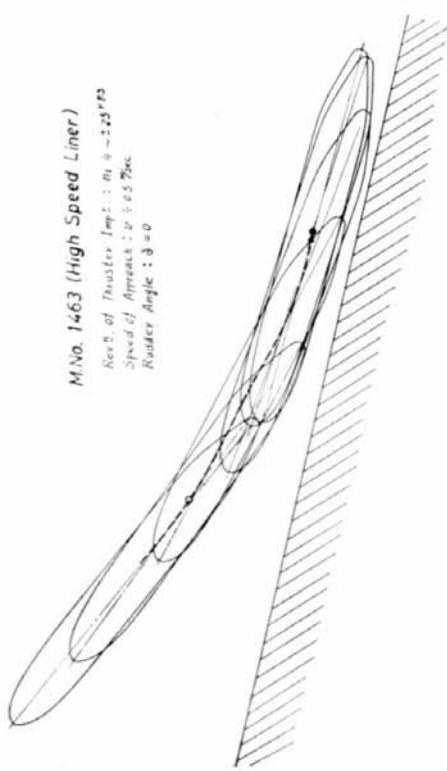


Fig. 3.47 Test for Going alongside a Pier(B)

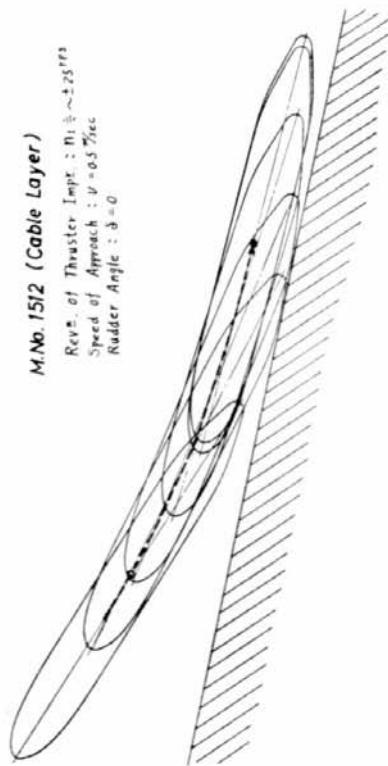


Fig. 3.48 Test for Going alongside a Pier(B)

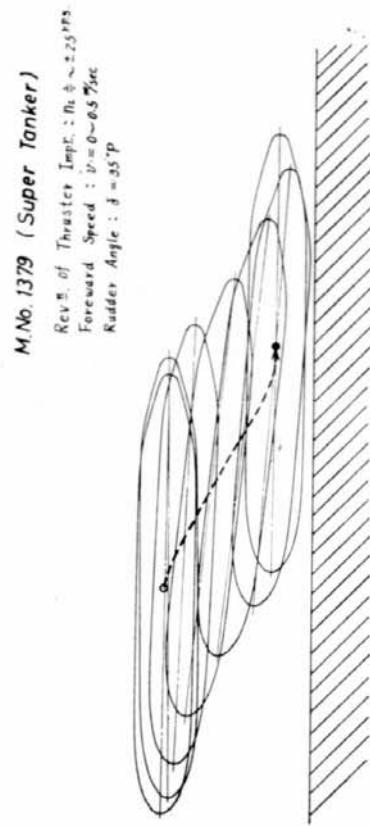


Fig. 3.49 Test for Going alongside a Pier(C)

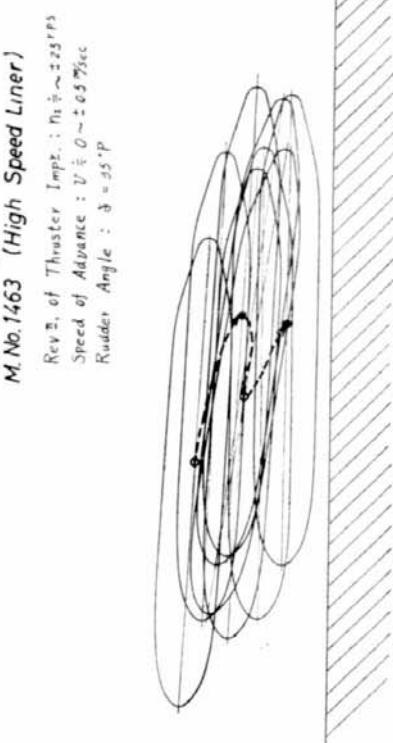


Fig. 3.50 Test for Going alongside a Pier(C)

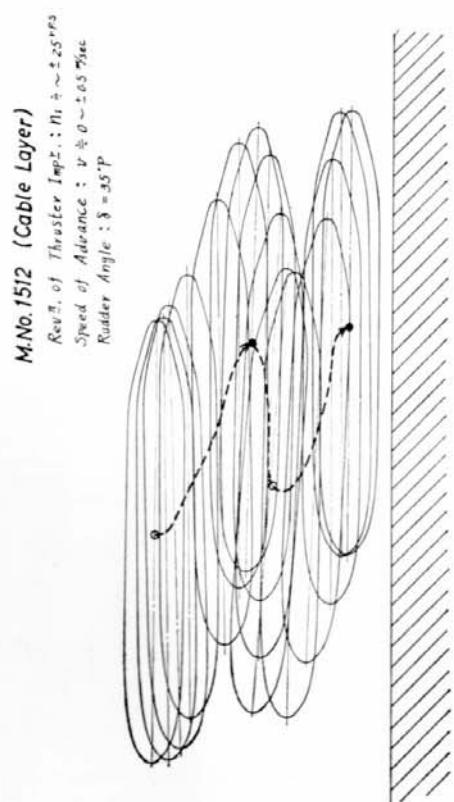


Fig. 3.51 Test for Going alongside a Pier(C)

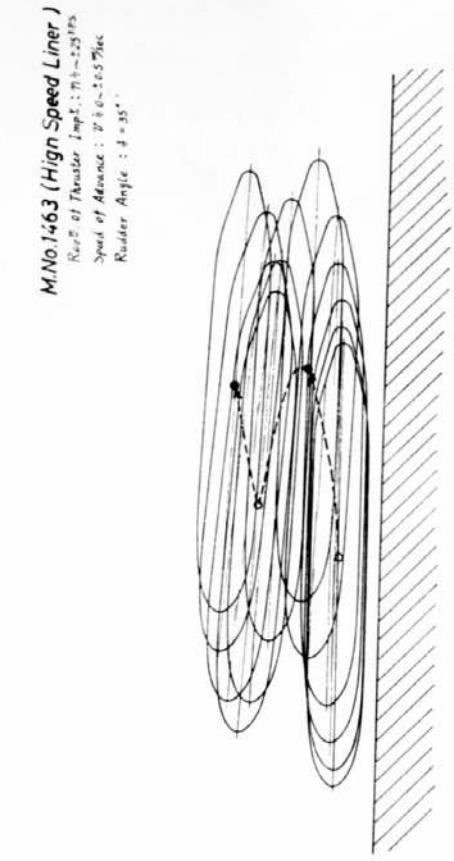


Fig. 3.53 Test for Going alongside a Pier(A)

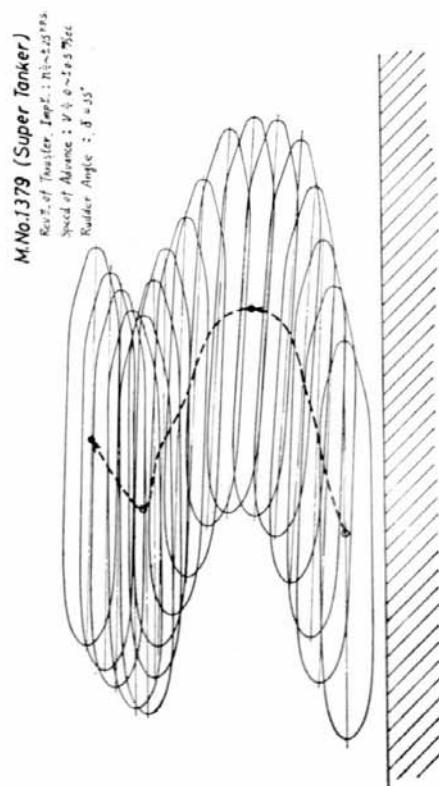


Fig. 3.52 Test for Going alongside a Pier(A)

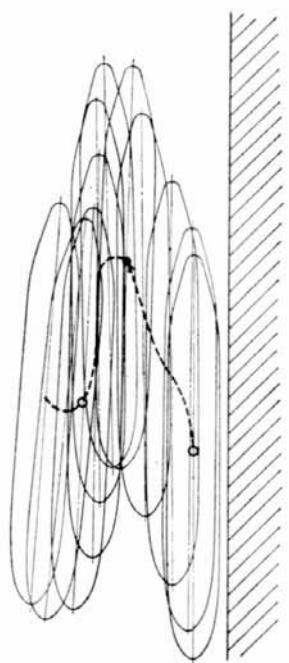


Fig. 3.54 Test for Going alongside a Pier(A)

### M.1379 (Super Tanker)

Rev. # of Thruster Imp.:  $n_t \approx 25$  rps  
Rev. # of Main Prop.:  $n \neq 0$   
Rudder Angle:  $\delta = 0^\circ$

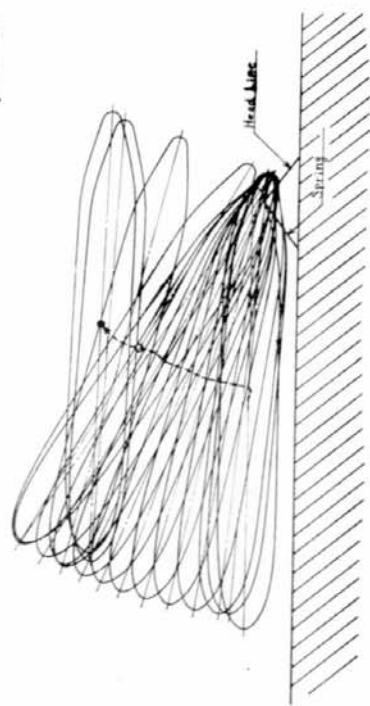


Fig. 3.55 Test for Clearing a Pier(B)

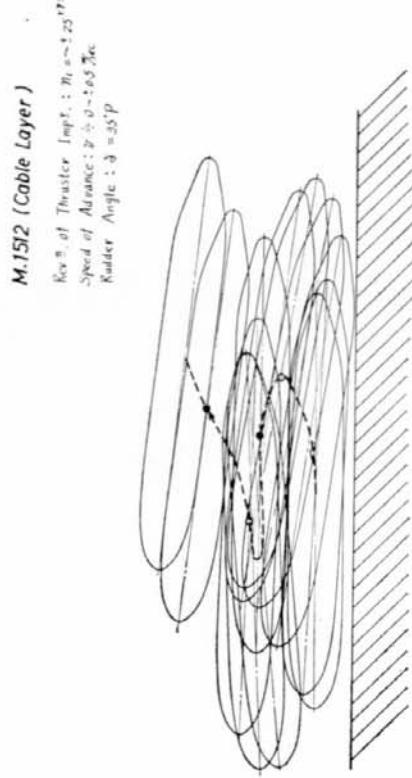


Fig. 3.57 Test for Going alongside a Pier(B)

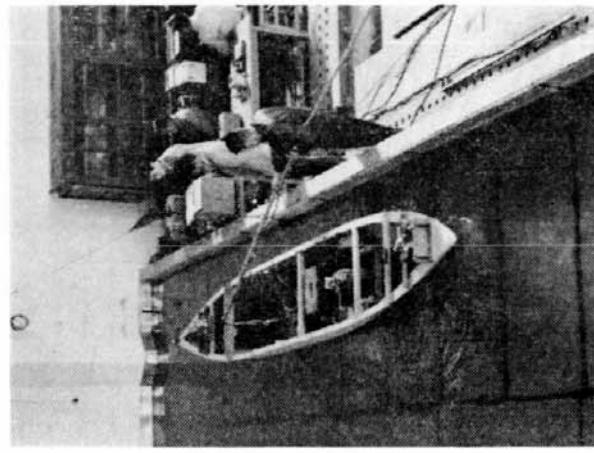
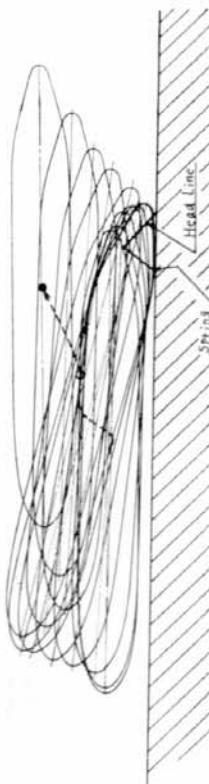


Fig. 3.58 An Example of Manoeuvre Tests  
M. No. 1463 (High Speed Liner)



**M.No. 1379 (Super Tanker)**

Channel Width :  $b = 2B$  , Speed of Advance :  $V = 0.5 \frac{B}{ke}$   
Angle of Turn :  $\theta = 20^\circ$  , Rev. s. of Impeller :  $n_t = \sim 2.25 \text{ rps}$

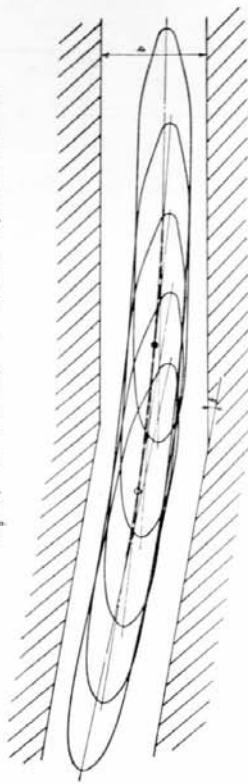


Fig. 3.62 Manoeuvre in Narrow Channel

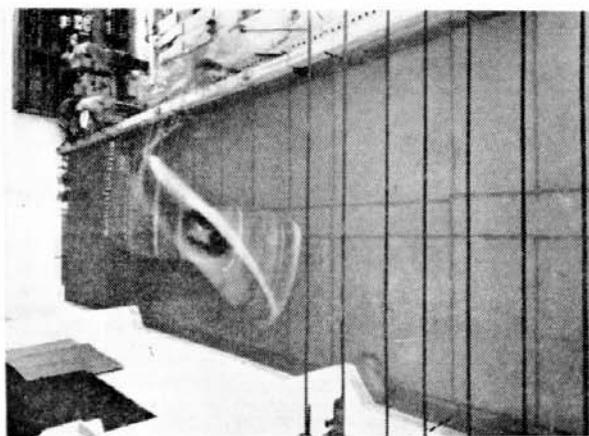
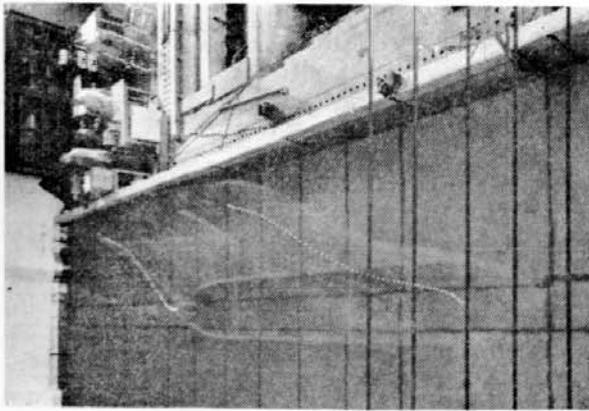


Fig. 3.59 An Example of Manoeuvre Tests  
M. No. 1379(Super Tanker)



— 55 —

**M.No. 1379 (Super Tanker)**

Channel Width :  $b = 2B$  , Speed of Advance :  $V = 0.5 \frac{B}{ke}$   
Angle of Turn :  $\theta = 30^\circ$  , Rev. s. of Impeller :  $n_t = \sim 2.25 \text{ rps}$ ,  
Rudder Angle :  $\delta = 20^\circ$

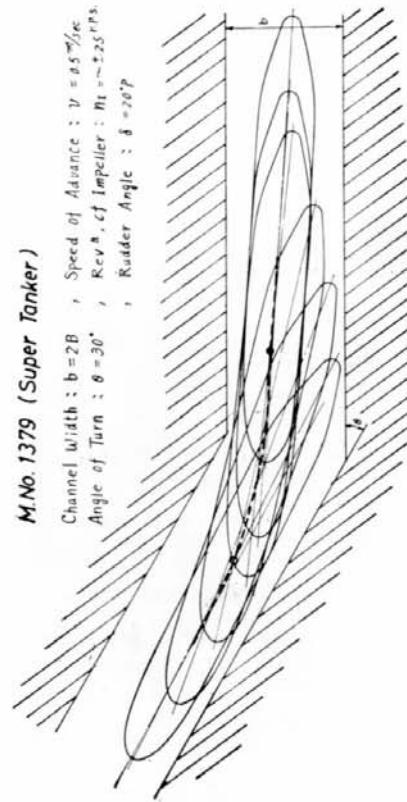


Fig. 3.61 Manoeuvre in Narrow Channel

**M.No. 1379 (Super Tanker)**

Channel Width :  $b = 2B$  , Speed of Advance :  $V = 0.5 \frac{B}{ke}$   
Angle of Turn :  $\theta = 20^\circ$  , Rev. s. of Impeller :  $n_t = \sim 2.25 \text{ rps}$ ,  
Rudder Angle :  $\delta = 20^\circ$

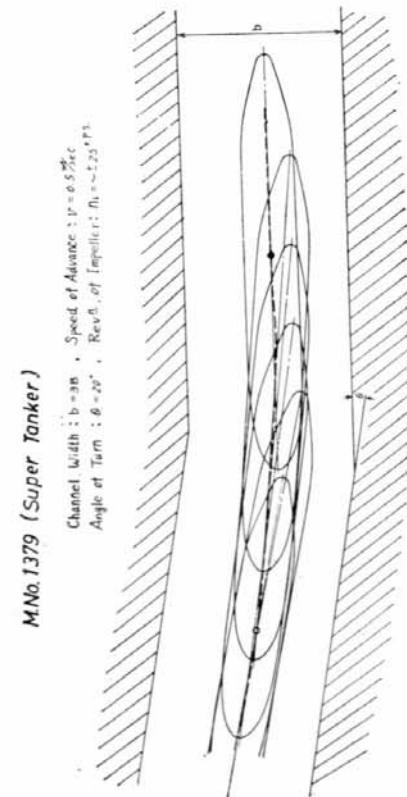


Fig. 3.63 Manoeuvre in Narrow Channel

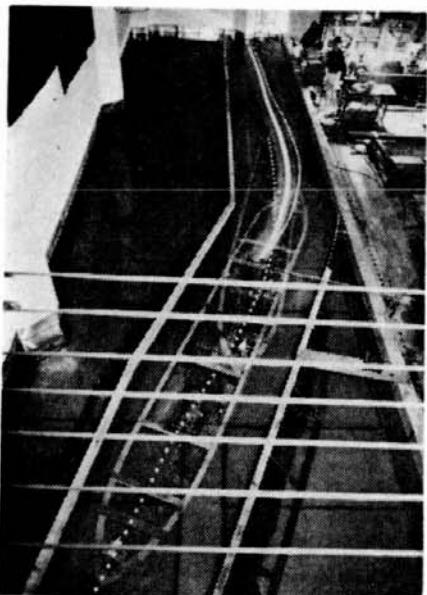


Fig. 3.64 Manoeuvre in Narrow Channel  
M. No. 1379(Super Tanker)

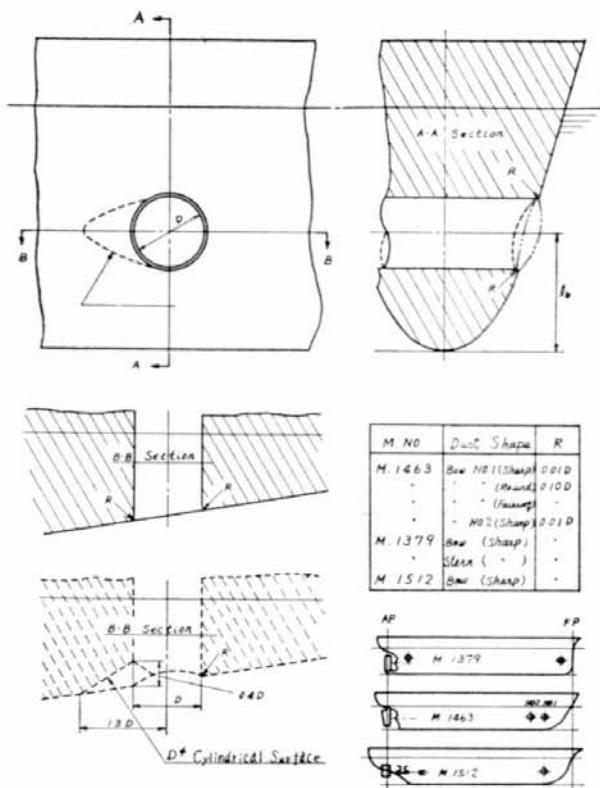


Fig. 3.65 Tested Shape of Hull Opening

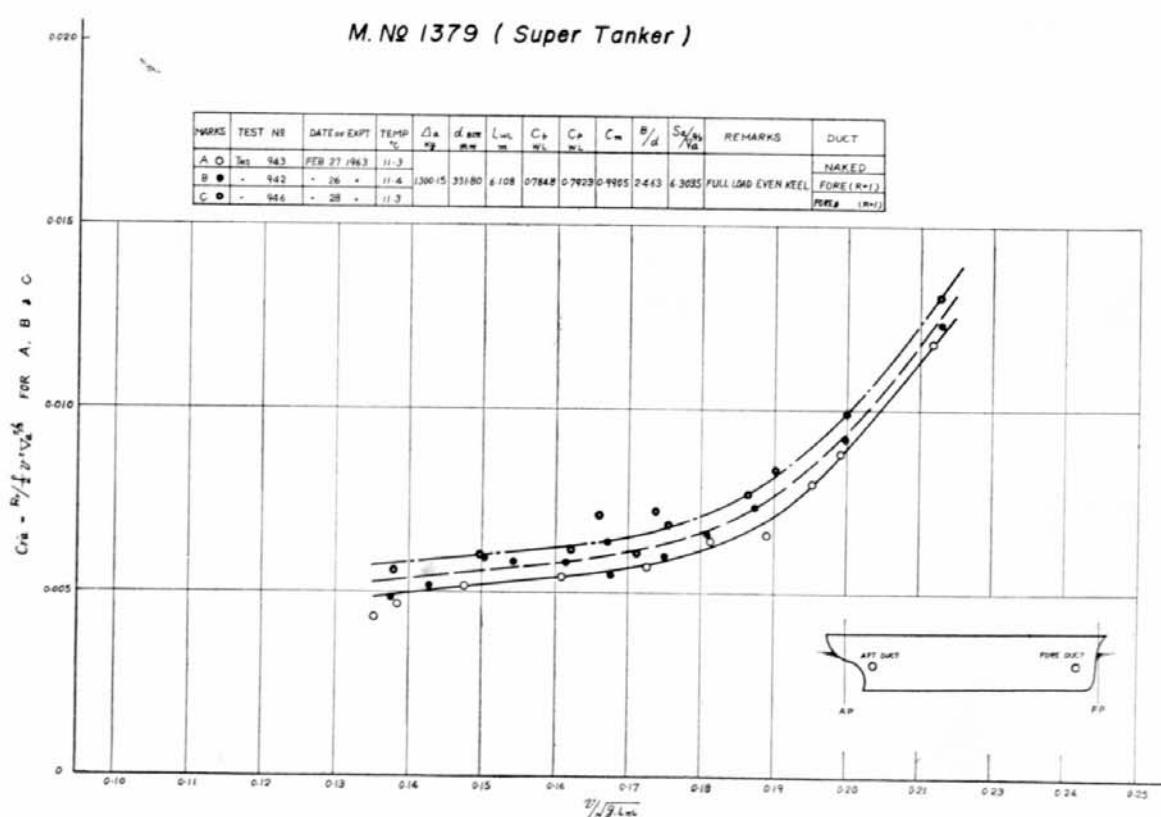


Fig. 3.66. Pesidual Resistance Coefficients

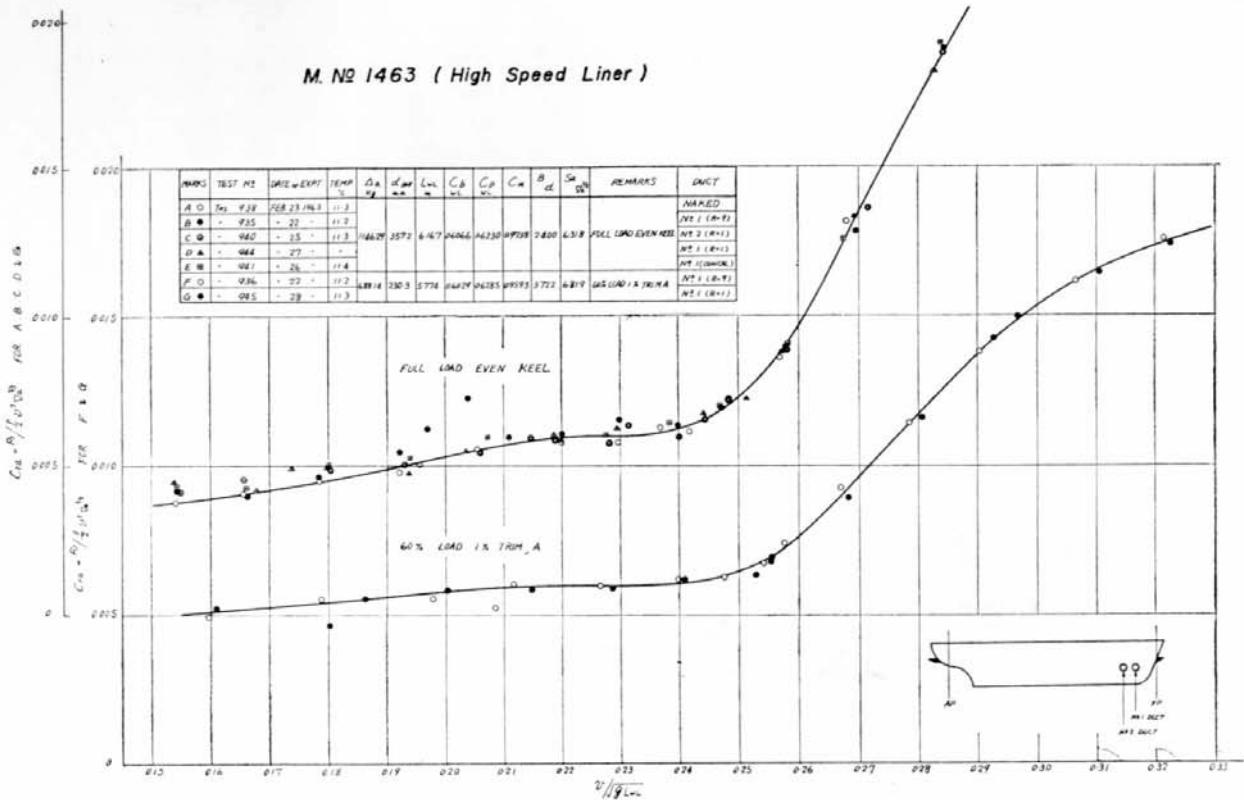


Fig. 3.67. Residual Resistance Coefficients

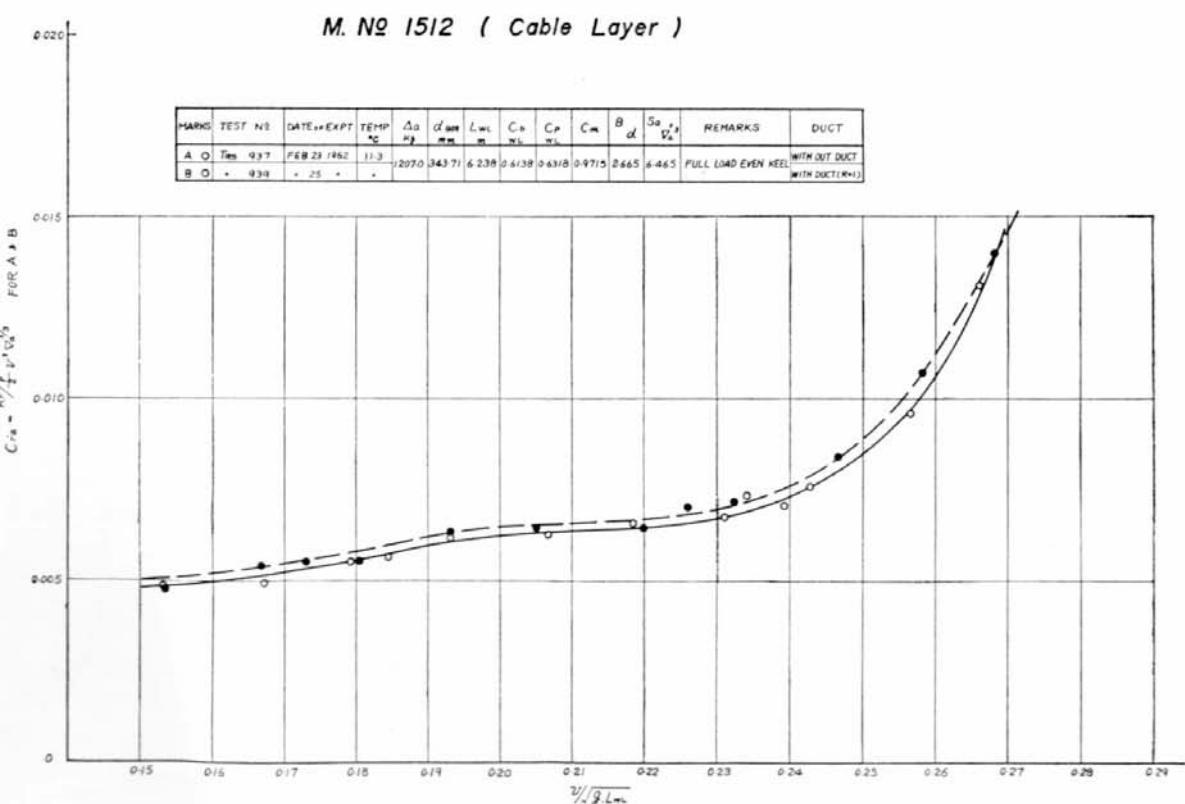


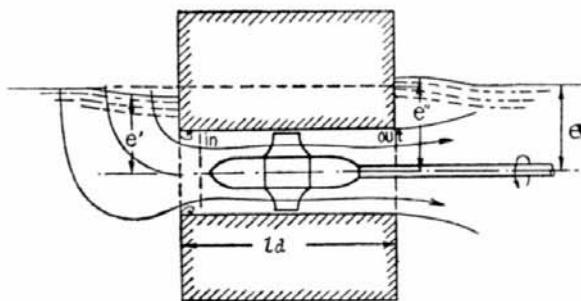
Fig. 3.68. Residual Resistance Coefficients

## Appendix

### Side Thruster の理論的研究

#### 1. Side Thruster の一般性能

##### 1.1 Side Thruster の推力



記号

$D$  : Duct の直径

$l_d$  : Duct の長さ

$T$  : Impeller Thrust

$F$  : Duct Block の Axial Force

$$C_T = T / \rho n^2 D^4$$

$$C_F = F / \rho n^2 D^4$$

$Q$  : Impeller Torque

$$C_Q = Q / \rho n^2 D^5$$

$$S = \frac{\pi}{4} D^2$$

$C_{mi}$  : Duct 入口後における速度

$C_{mo}$  : Duct 出口における速度

$C_m$  : Impeller 面における速度

$C_M = (\text{流量})/s$  : 平均速度

$\zeta$  : 入口損失係数

$\lambda$  : Duct の損失係数

$$\begin{aligned} T &= \gamma S \left[ \left\{ \frac{C_{mi}^2}{2g} + \zeta \frac{C_M^2}{2g} + (e'' - e') \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{g} \int_s (C_{mo}^2 - C_{mi}^2) \frac{dS}{S} + \lambda \frac{l_d}{D} \frac{C_M^2}{2g} \right] \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (1.1)$$

$$F = \gamma S \left[ \kappa(e'' - e) - \left\{ \frac{C_{mi}^2}{2g} + \zeta \frac{C_M^2}{2g} + (e'' - e') \right\} \right]$$

$$+ \frac{1}{g} \int_s C_{mi}^2 \frac{dS}{S} - \lambda \frac{l_d}{D} \frac{C_M^2}{2g} \quad \dots \dots \dots (1.2)$$

$$T + F = \gamma S \left[ \kappa (e'' - e) + \frac{1}{g} \int_s C_{mo}^2 \frac{dS}{S} \right] \quad \dots \dots \dots (1.3)$$

上記の (1.1)、(1.2) および (1.3) 式は、運動量法則より求められた。

ここに次の如く仮定する。

仮定 (i)  $C_{mi} = C_M$  (入口後の断面上において一定)

(ii)  $C_{mo} = C_m$  (出口断面上の点によって変る)

(iii)  $e' = e'' = e$

仮定 (i) より

$$\int_s C_{mi}^2 \frac{dS}{S} = C_M^2 \quad \dots \dots \dots (1.4)$$

また、次の如くおく。

$$\int_s C_{mo}^2 \frac{dS}{S} = \int_s C_m^2 \frac{dS}{S} = \alpha C_M^2 \quad \dots \dots \dots (1.5)$$

仮定 (i)、(ii)、(iii) および (1.4)、(1.5) 式を、(1.1)、(1.2)、(1.3) 式に代入する。

$$T = \gamma S \left\{ -1 + 2\alpha + \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) \right\} \left\{ \frac{C_M^2}{2g} \right\} \quad \dots \dots \dots (1.6)$$

$$F = \gamma S \left\{ 1 - \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) \right\} \left\{ \frac{C_M^2}{2g} \right\} \quad \dots \dots \dots (1.7)$$

$$T + F = \gamma S \alpha \frac{C_M^2}{g} \quad \dots \dots \dots (1.8)$$

Impeller 外周の周速度  $U$  は

$$U = \pi n D \quad \dots \dots \dots (1.9)$$

(1.6)、(1.7) および (1.9) 式より

$$C_T = \frac{\pi^3}{8} \left\{ -1 + 2\alpha + \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) \right\} \left( \frac{C_M}{U} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (1.10)$$

$$C_F = \frac{\pi^3}{8} \left\{ 1 - \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) \right\} \left( \frac{C_M}{U} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (1.11)$$

## 1.2 Impeller の性能

### 記号

$H_{th}$ : 理論水頭

$L$ : 翼弦長

$t = \pi D/z$

$z$ : 羽根数

$\theta$ : 羽根角

$\delta$ : 迎角

$\zeta_a$ : 揚力係数

$\zeta_w$ : 抗力係数

$$H_{th} = \frac{C_{mo}^2}{2g} + \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) \frac{C_M^2}{2g} + (e'' - e') \quad \dots \dots \dots (1.12)$$

仮定 (i)、(ii)、(iii) により

$$H_{th} = \frac{C_m^2}{2g} + \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) \frac{C_M^2}{2g} \quad \dots \dots \dots (1.12')$$

$$C_{3u} = \frac{gH_{th}}{u} \quad \dots \dots \dots (1.13)$$

$$w_\infty^2 = C_m^2 + \left( u - \frac{1}{2} C_{3u} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (1.14)$$

$$\zeta_w / \zeta_a = \tan \lambda = 0.012 + 0.06 y_{ma}/L \quad \dots \dots \dots (4.15)$$

$$\tan \beta_\infty = C_m / \left( u - \frac{1}{2} C_{3u} \right) \quad \dots \dots \dots (1.16)$$

$$\zeta_a \frac{L}{t} = \frac{2gH_{th}C_m}{w_\infty^2 u \sin(\beta_\infty + \lambda)} \quad \dots \dots \dots (1.17)$$

三菱造船 P. No. 1307 Impeller の翼断面については

$$\zeta_a = 0.092 \text{ } \delta^\circ \quad \dots \dots \dots (1.18)$$

$$\beta_\infty = \theta - \delta \quad \dots \dots \dots (1.19)$$

$$C_M = \frac{8}{D^2} \int_{d/2}^{D/2} C_m r \, dr \quad \dots \dots \dots (1.20)$$

$$Q = 2\pi r \int_{d/2}^{D/2} \frac{H_{th} C_m r^2}{u \cos \lambda} \, dr \quad \dots \dots \dots (1.21)$$

$$C_Q = \frac{\pi^3}{U^2 D^3} \int_{d/2}^{D/2} \frac{2gH_{th} C_m r^2}{u \cos \lambda} \, dr \quad \dots \dots \dots (1.22)$$

### 1.3 実験結果の解析

三菱造船 KK、船型試験場における試験 Impeller P. No. 1307 に関する実験結果

$$D = 200\text{mm}, \quad I/D = 1.25, \quad l_d/D = 2, \quad l_b/D = 3, \quad l_s/D = 3, \quad T_{tip} G_{op}/D = 0.0075$$

$$\text{入口半径 } R/D = 0, 0.05, 0.20$$

を検討する。

なお、Impeller P. No. 1307 においては

$$\theta = \tan^{-1} \frac{P_{0.7}}{0.7\pi} = \tan^{-1} \frac{0.750}{0.7\pi} \tan^{-1} 0.3411 = 18^\circ 50' : \text{一定}$$

$$1.3.1 \quad R = 10\text{mm}, \quad R/D = 0.05, \quad n = 10\text{rps}$$

(i) 次頁の表中の下から 2 段目の数値より

$$\int_{d/2}^{D/2} C_m r \, dr = 0.008074 \text{m}^3/\text{s}$$

$$C_M = \frac{8}{D^2} \int_{d/2}^{D/2} C_m r \, dr = 1.615 \text{m/s}$$

この  $C_M$  値と、また表中の  $C_m$  値より、 $H_{th}$  の値を求め、第3次近似値よりの  $H_{th}$  の値と差が少ないことを確認する。

$$\frac{C_M}{U} = \frac{1.615}{9.425} = 0.1714$$

$r$ mm	40	50	60	70	80	90	95	100	
$L$ mm	33.66	59.37	69.88	72.18	67.12	52.62	38.90	0	
$t/L$	1.867	1.323	1.349	1.523	1.872	2.687	3.836	$\infty$	
$y_{max}/L$	0.223	0.107	0.075	0.057	0.044	0.035	0.033		
$H_{th}$ m	0.103	0.145	0.191	0.245	0.300	0.352	0.371		(1.12')式
$C_{3u}$ m/s	0.268	0.302	0.331	0.364	0.390	0.402	0.406		(1.13)式
* $u$ m/s	3.770	4.713	5.655	6.598	7.540	8.483	8.954	9.425	$= U$
$u - \frac{1}{2} C_{3u}$	3.636	4.562	5.489	6.416	7.345	8.279	8.751		
$w_\infty^2 \text{m}^2/\text{s}^2$	14.49	22.90	33.13	45.22	59.08	74.71	83.11		(1.14)式
$\tan \lambda$	0.0253	0.0184	0.0165	0.0154	0.0146	0.0141	0.0140		(1.15)式
$\lambda$	$1^\circ 27'$	$1^\circ 03'$	$0^\circ 57'$	$0^\circ 53'$	$0^\circ 50'$	$0^\circ 49'$	$0^\circ 48'$		
$\tan \beta_\infty$	0.3097	0.3170	0.3155	0.3139	0.3085	0.3000	0.2921		(1.16)式
$\beta_\infty$	$17^\circ 13'$	$17^\circ 35'$	$17^\circ 31'$	$17^\circ 26'$	$17^\circ 09'$	$16^\circ 42'$	$16^\circ 17'$		
$\beta_\infty + \lambda$	$18^\circ 40'$	$18^\circ 28'$	$18^\circ 28'$	$18^\circ 19'$	$17^\circ 59'$	$17^\circ 31'$	$17^\circ 05'$		
$\sin(\beta_\infty + \lambda)$	0.3201	0.3195	0.3168	0.3143	0.3087	0.3010	0.2938		
$\zeta_a \frac{L}{t}$	0.1304	0.1192	0.1094	0.1032	0.0970	0.0899	0.0851		(1.17)式
$\zeta_a$	0.244	0.158	0.148	0.157	0.182	0.242	0.326		
$\hat{o}$	$2^\circ 39'$	$1^\circ 43'$	$1^\circ 37'$	$1^\circ 43'$	$1.59'$	$2^\circ 38'$	$3^\circ 32'$		(1.18)式
$\beta_\infty$	$16^\circ 11'$	$17^\circ 07'$	$17^\circ 13'$	$17^\circ 07'$	$16^\circ 51'$	$16^\circ 12'$	$15^\circ 18'$		(1.19)式
$\tan \beta_\infty$	0.2902	0.3080	0.3099	0.3080	0.3029	0.2905	0.2736		
$C_m$ m/s	1.094	1.452	1.753	2.032	2.284	2.464	2.450	0	(1.16)式
$rC_m$ m <sup>2</sup> /s	0.0438	0.0726	0.1052	0.1422	0.1827	0.2218	0.2328	0	
$\frac{2gH_{th}C_m r^2}{u \cos \lambda}$	$0.968 \times 10^{-3}$	2.181	4.131	7.189	11.32	16.39	$18.76 \times 10^{-3}$	0	$\text{m}^4/\text{s}^2$

\* この値のみは近似の次数に係らず一定。

### (ii) 三菱造船KKの実験結果より

$$C_T = 0.1590, \quad C_F = 0.0820$$

(1.10)、(1.11) 式に、上の  $C_T$ 、 $C_F$  の値と上の  $C_M/U$  値を代入して、

$$\begin{cases} -1 + 2\alpha + \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) = 1.396 \\ 1 - \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) = 0.720 \end{cases}$$

これより

$$\alpha = 1.058, \quad \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} = 0.280$$

(iii) 計算によって求めた、上の  $\alpha$  と  $\left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right)$  の値より  $C_Q$  を計算によって求める。

上表の下から 1 段目の数値より

$$\int_{d/2}^{D/2} \frac{2gH_{th}C_m r^2}{u \cos \lambda} dr = 4.698 \times 10^{-4} \quad \text{m}^5/\text{s}^2$$

$$C_Q = \frac{\pi^3}{U^2 D^3} \int_{d/2}^{D/2} \frac{2gH_{th}C_m r^2}{u \cos \lambda} dr = \frac{31.01}{9.425^2 \times 0.200^3} \times 4.698 \times 10^{-4}$$

$$C_Q = 0.0205 \quad (C_T, C_F の 値 より 誘導した C_Q)$$

(iv) 三菱造船KKの  $C_Q$  の実験結果

$$C_Q = 0.0215$$

(v) 誘導した  $C_Q$  の値 (0.0205) と、 $C_Q$  の実験値 (0.0215) とは、よく一致する。

1.3.2  $R=40\text{mm}$ 、 $R/D=0.20$ 、 $n=10\text{rps}$

(i) 三菱造船KKの実験値より、

$$C_T = 0.1335, \quad C_F = 0.0920$$

これらの値と、 $\alpha=1.058$  と仮定して、(1.10)、(1.11) 式より、

$C_M/U$ 、 $\zeta + \lambda \frac{l_d}{D}$  の概略値を求める。

$$C_M/U = 0.1658, \quad C_M = 0.1658 \times 9.425 = 1.563 \text{m/s}$$

$$\zeta + \lambda \frac{l_d}{D} = 0.137$$

$$C_Q \propto H_{th} C_m \propto \left\{ 1 + \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) \right\} C_M^3$$

$$\therefore C_Q = 0.0205 \times \frac{0.137}{1.280} \times \left( \frac{0.1658}{0.1714} \right)^3 = 0.0165 \quad (\text{誘導した概略値})$$

(ii) 三菱造船KKの  $C_Q$  の実験値

$$C_Q = 0.01975$$

1.3.3  $R=0\text{mm}$ 、 $R/D=0$ 、 $n=10\text{rps}$

(i) 三菱造船KKの実験値より、

$$C_T = 0.1875, \quad C_F = 0.0520$$

これらの値と、 $\alpha=1.058$  と仮定して、(1.10)、(1.11) 式より、

$C_M/U$ 、 $\zeta + \lambda \frac{l_d}{D}$  の概略値を求める。

$$C_M/U = 0.1709, \quad C_M = 0.1709 \times 9.425 = 1.611 \text{m}$$

$$\zeta + \lambda \frac{l_d}{D} = 0.541$$

$$C_Q \propto H_{th} C_m \propto \left\{ 1 + \left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right) \right\} C_M^3$$

$$\therefore C_Q = 0.0205 \times \frac{0.541}{1.280} \times \left( \frac{0.1709}{0.1714} \right)^3 = 0.0244 \quad (\text{誘導した概略値})$$

(ii) 三菱造船KKの  $C_Q$  の実験値

$$C_Q = 0.02415$$

## 1.4 結論

(i)  $R=10\text{mm}$  ( $R/D=0.05$ ) についての計算結果と実験結果との比較が示すごとく、 $\alpha$  と  $\left( \zeta + \lambda \frac{l_d}{D} \right)$  の値が既知であれば、本報告の方法により Side Thruster の一般性能を計算により推測するこ

とができるものと考えられる。

計算値と実験値との差は、(a) 流れが円筒面にあるか否か、(b) Impeller Tip よりのもれ、(c) 翼型性能の詳細が不明 (d) はたして  $e' = e'' = e$  が成立するか否か、などの未確認要素によるものと考えられる。

(ii)  $R=40\text{mm}$  ( $R/D=0.20$ )、 $R=0\text{mm}$  ( $R/D=0$ ) については、速度分布が  $R=10\text{mm}$  の場合と全く同様との仮定の下に概略値を誘導したものであるが、それは

$R=0\text{mm}$  のときはよく実験値と一致し、

$R=40\text{mm}$  のときは実験値との相違が大きい。

(iii)  $\left(\zeta + \lambda \frac{l_d}{D}\right)$  と  $R/D$  の関係

$R/D$	0	0.05	0.20
$\zeta + \lambda \frac{l_d}{D}$	0.541	0.280	0.137
* $\zeta$	0.461	0.200	0.057

\*  $(\lambda = 0.040$  として、 $l_d/D = 2.0$  なるため、  
 $\lambda l_d/D = 0.080$  になるとして、)

$R/D=0$  のときの、 $\zeta=0.461$  は他の実験結果と一致する。

(白倉 昌明)

## 2. Side Thruster が運動性能におよぼす影響

Side Thruster 停止時には有効であるが前進速度が増すと急激にその効果が減少することが経験的に知られている。その原因としては、

- (1) Side Thruster の推力そのものが船体の前進速度、Drift および回転によって大きく変化する。
- (2) 船の旋回運動自体の性質として、前進速度と共に旋回性が低下する。

の二つが考えられる。

本文はその内(2)の影響を明らかにする目的で船首に一定の力を横向きに作用させた時の旋回運動を計算した結果である。

### 2.1 座標系および運動方程式

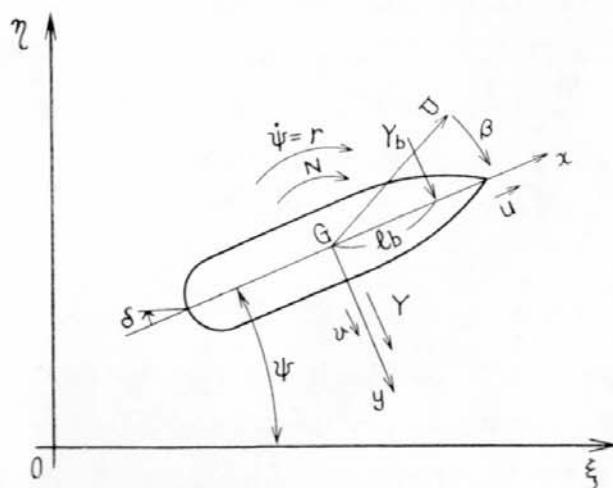


Fig. 2.1

座標系および記号を Fig. 2.1 の如く取る

a) 前進速度が Drifting Speed および回転角速度にくらべて大きい場合、線型化された運動方程式は次のとくなる。

$$\left. \begin{aligned} -(m' + m'_y)\dot{\beta}' &= Y_{\beta}'\beta + \{-(m' + m'_x) + Y_r'\}r' + Y_{\delta}'\delta + Y_b' \\ (I_z' + J_z')\dot{r} &= N_{\beta}'\beta' + N_r'r' + N_{\delta}'\delta' + N_b' \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

ただし、 $Y_b'$  は無次元化せる Side Thruster の推力

$N_b'$  は “ ” のモーメント

であり

$Y_{\beta}'$ 、 $Y_r'$ 、 $N_{\beta}'$ 、 $N_r'$  等の suffix はそれぞれ  $\beta$ 、 $r$  に関する偏微分係数を表わす。

(prime) 記号は総て無次元化した量を表わす。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} t' &= t \frac{U}{l}, \quad r' = r \frac{l}{U}, \quad \beta' = \beta, \quad \delta' = \delta, \quad \phi' = \phi \\ m' &= \frac{m}{\frac{1}{2}\rho l^2 d} \quad I' = \frac{I}{\frac{1}{2}\rho l^4 d} \\ Y_{\beta}' &= \frac{\frac{\partial Y}{\partial \beta}}{\frac{1}{2}\rho l d U^2} \quad N_{\beta}' = \frac{\frac{\partial N}{\partial \beta}}{\frac{1}{2}\rho l^2 d U^2} \\ Y_r' &= \frac{\frac{\partial Y}{\partial r}}{\frac{1}{2}\rho l^2 d U} \quad N_r' = \frac{\frac{\partial N}{\partial r}}{\frac{1}{2}\rho l^3 d U} \\ Y_{\delta}' &= \frac{\frac{\partial Y}{\partial \delta}}{\frac{1}{2}\rho l d U^2} \quad N_{\delta}' = \frac{\frac{\partial N}{\partial \delta}}{\frac{1}{2}\rho l^2 d U^2} \\ Y_b' &= \frac{Y_b}{\frac{1}{2}\rho l d U^2} \quad N_b' = \frac{N_b}{\frac{1}{2}\rho l^2 d U^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

b) 前進速度 0 の場合

垂直力  $Y_{\beta}\beta$  および Munk Moment  $N_{\beta}\beta$  は 0 となり Drift および回転に対する抵抗は Drifting Speed  $v$  および回転角速度  $r$  の 2 乗に比例する形となる。従って運動方程式は

$$\left. \begin{aligned} (m + m_y)\dot{v} &= Y_{rr}r^2 + Y_{rv}rv + Y_{vv}v^2 + Y_b \\ (I_z + J_z)\dot{r} &= N_{rr}v^2 + N_{rv}rv + N_{vv}v^2 + N_b \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

の形となり非線型となる。

c) 微速の場合

前進速度が Drifting Speed、または回転角速度に基く部分的な線速度に較べて小さいような場合には非線型部分を省略することはできない。すなわち運動方程式は

$$\left. \begin{aligned} (m + m_y)\dot{v} &= Y_{rr}r^2 + Y_{vv}v^2 + Y_{rv}rv + Y_{Ur}Ur + Y_{Uv}Uv + Y_b \\ (I_z + J_z)\dot{r} &= N_{rr}r^2 + N_{vv}v^2 + N_{rv}rv + N_{Ur}Ur + N_{Uv}Uv + N_b \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

のような形になる。

この場合、諸係数を求めるには船長にくらべて旋回半径の小さい範囲での Rotating Arm Test が必要である。

また、係数を無次元化するのに、 $\frac{1}{2}\rho l dU^2$  または  $\frac{1}{2}\rho l^2 dU^2$  で割るのは  $U \rightarrow 0$  なる故、不適当で

$$\begin{array}{ll} \frac{1}{2}\rho l dU^2 \text{ の代り} & \frac{1}{2}\rho l^3 dr^2 \\ \frac{1}{2}\rho l^2 dU^2 \text{ の代り} & \frac{1}{2}\rho l^4 dr^2 \end{array}$$

等を用いなければならない。

## 2.2 解

### a) 前進速度が大きい場合

前述のごとく今は簡単のため Side Thruster の力およびモーメントは船速、Drift Angle、回転角速度等に無関係に一定であるとし、Thrust は船体中心線に直角にかかるとすると

$$\frac{N_b}{Y_b} = l_b, \quad \frac{N_b'}{Y_b'} = \frac{l_b}{l} \quad \dots \quad (2.5)$$

である。ただし  $l_b$  は重心から Side Thruster までの距離を示す。

(2.1) 式を次のごとく書き換える

$$\left. \begin{array}{l} a_1 \dot{\beta}' = a_2 r' + a_3 \beta' + a_4 \\ b_1 r' = b_2 r' + b_3 \beta' + b_4 \end{array} \right\} \quad \dots \quad (2.6)$$

ただし

$$\left. \begin{array}{ll} a_1 = -(m' + m_{y'}) & b_1 = I_{Z'} + J_{Z'} \\ a_2 = -(m' + m_{x'}) + Y_r' & b_2 = N_{r'} \\ a_3 = Y \beta' & b_3 = N \beta' \\ a_4 = Y_{b'} & b_4 = N_{b'} \end{array} \right\} \quad \dots \quad (2.7)$$

$a_4(Y_b')$  および  $b_4(N_b')$  は  $t' < 0$  で 0 で、 $t' \geq 0$  で階段的に一定値になるものとして (2.6) を解くと

$$r' = G' \left\{ \left( 1 + \frac{\lambda_1' D'}{E'} \right) \frac{e^{\lambda_1' t'}}{\lambda_1' - \lambda_2'} - \left( 1 + \frac{\lambda_2' D'}{E'} \right) \frac{e^{\lambda_2' t'}}{\lambda_1' - \lambda_2'} \right\} \quad \dots \quad (2.8)$$

$$r' = \dot{\phi} = \frac{E'}{C'} \left\{ 1 + \left( 1 + \frac{\lambda_1' D'}{E'} \right) \frac{\lambda_2' e^{\lambda_1' t}}{\lambda_1' - \lambda_2'} - \left( 1 + \frac{\lambda_2' D'}{E'} \right) \frac{e^{\lambda_2' t}}{\lambda_1' - \lambda_2'} \right\} \quad \dots \quad (2.9)$$

ただし

$$\left. \begin{array}{ll} \lambda_1' \\ \lambda_2' \end{array} \right] = \frac{-B'}{2A'} \left[ \begin{array}{l} + \\ - \end{array} \right] \frac{\sqrt{B'^2 - 4A'C'}}{2A'} \\ \left. \begin{array}{ll} A' = a_1 b_1 & B' = -(a_1 b_2 + a_3 b_1) \\ C' = a_3 b_2 - a_2 b_3 & D' = a_1 b_4 \\ E' = a_4 b_3 - a_3 b_4 & \\ G' = \frac{E'}{A'} = \frac{a_4 b_3 - a_3 b_4}{a_1 b_1} & \end{array} \right\} \quad \dots \quad (2.10)$$

$\frac{E'}{C'}$  は次の形に書き換えられる

$$\frac{E'}{C'} = \frac{a_4 \left[ b_3 - a_3 \frac{b_4}{a_4} \right]}{C'} = \frac{a_4 \left[ b_3 - a_3 \frac{l_b}{l} \right]}{C'} = \frac{Y_b' \left[ b_3 - a_3 \frac{l_b}{l} \right]}{C'} \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

ゆえに、Side Thruster の推力  $Y_b$  に比例し (2.9) 式の括弧内は総て船自体の形および Side Thruster の位置によって決まるから、

角速度は Side Thruster の推力に比例することが判る。

次に  $\frac{E'}{C'}$  を (2.11) 式よりさらに書き換えれば

$$\frac{E'}{C'} = \frac{a_4 a_3 \left( \frac{b_3}{a_3} - \frac{l_b}{l} \right)}{C'} = \frac{-Y_b' Y_{\beta}' \left[ \frac{N_{\beta}'}{Y_{\beta}'} - \frac{l_b}{l} \right]}{C'} = \frac{Y_b' Y_{\beta}' \left[ \frac{l_b}{l} - \frac{l_Y}{l} \right]}{C'} \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

となる。 $\frac{l_Y}{l}$  は垂直力  $Y_{\beta}'$  の着力点と重心との距離を船長  $l$  で割ったものであり、 $\frac{l_b}{l}$  は Side Thruster の位置と重心との間の距離を  $l$  で割ったものである。また  $C'$  は方向安定を判別する係数で方向安定な船なら正であるから

- 1)  $\frac{l_Y}{l} > \frac{l_b}{l}$  すなわち Side Thruster が垂直力の着力点より後なら船は力の加えられた方向と逆の方向に船首が回転する様な旋回をする。(逆旋回)
- 2)  $\frac{l_Y}{l} < \frac{l_b}{l}$  すなわち Side Thruster が着力点より前なら船は力の加わった方向に旋回する。(順旋回)

垂直力の着力点は通常重心の前方  $0.35l \sim 0.5l$  の所にあるから Side Thruster の位置如何によつては逆旋回をする可能性が大いにありうるわけである。

しかしながら Side Thruster によって生じた Drifting Speed と旋回角速度が大きくならない極く初期の間は運動は主として慣性力により左右されるので Side Thruster が重心より前にあれば力の方向に回転をし途中から流体力学的な力の作用で回転方向が反転する。詳しくは次節実例について述べる。

線型方程式を扱う限り、解の形 (2.2)、(2.9) は前進速度に拘らず同じとなる。

また以上は方向安定な船についての結果であり、方向不安定な船では初期の旋回方向(順回転)がそのまま助長されて順旋回を続ける。

b) 前進速度 0 の場合

(2.3) 式で Drift になる抵抗が重心に一致するものとすると  $N_{vv}=0$  となり、また連成項  $N_{rv}v$  も省略できるものとすると

$$(I_z + J_z)\dot{r} = N_{rr}r^2 + N_b \quad \dots \dots \dots (2.13)$$

となり、解は  $N_{rr}$  が  $N_b$  と逆符号であることに着目して

$$r = \sqrt{-\frac{N_b}{N_{rr}}} \cdot \frac{e^{\frac{2\sqrt{-N_{rr} \cdot N_b}}{I_z + J_z} t - 1}}{e^{\frac{2\sqrt{-N_{rr} \cdot N_b}}{I_z + J_z} t + 1}}$$

$$= \sqrt{-\frac{N_b}{N_{rr}}} \tan h \left[ \frac{\sqrt{-N_{rr}N_b}}{I_Z + J_Z} t \right] \quad \dots \dots \dots (2.14)$$

$$t \rightarrow \infty \text{ で } r \rightarrow \sqrt{-\frac{N_b}{N_{rr}}}$$

この場合は、旋回方向は常に Thrust の方向と一致する。すなわち順旋回である。

また初期の角加速度は

$$\dot{\gamma} = \frac{N_b}{I_Z + J_Z} \quad \dots \dots \dots (2.15)$$

となる。

### 2.3 計算例

以上の結果を係数の判っている Series 60、block 60 船型について計算して見る。

もちいた係数は次のとくである。

$$a_1 = -(m' + m_y') = -0.3314$$

$$a_2 = Y_r' - (m' + m_x') = -0.1028$$

$$a_3 = Y_\beta' = 0.2865$$

$$a_4 = \text{比較計算のため不定} = Y_b' \quad \triangle 0.3 \% \text{にとっている}$$

$$b_1 = I_Z' + J_Z' = 0.02545$$

$$b_2 = N_r' = -0.07142$$

$$b_3 = N_\beta' = 0.1146$$

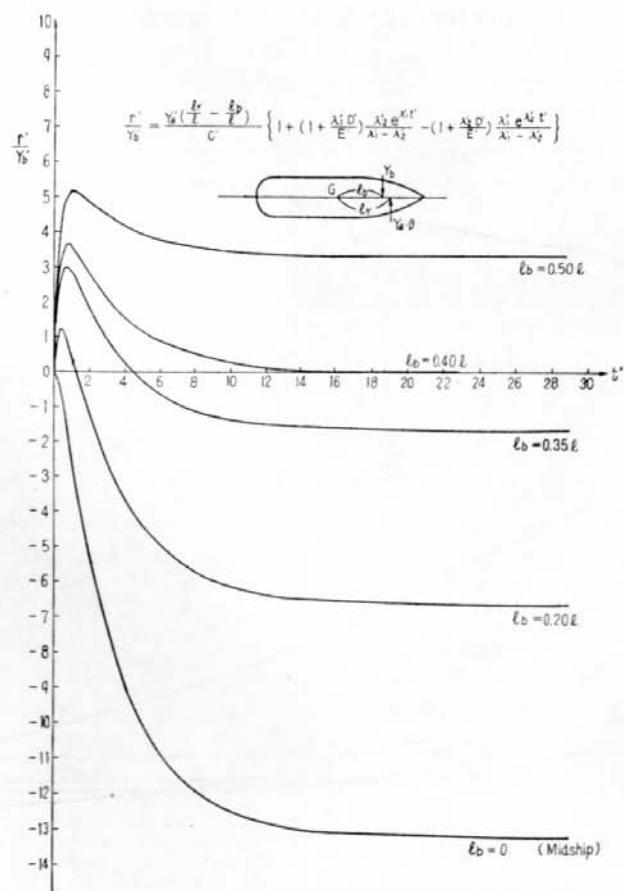


Fig. 2.2 Influence of Position

$b_4$ =比較計算のため不定

$$\lambda_1' = -3.3648$$

$$\lambda_2' = -0.3059$$

a) 位置の影響および旋回角速度の時間的変化

Fig. 2.2 は Side Thruster の位置を  $\infty$  から前方に動かした場合の旋回角速度と時間の関係を示す。

この船の垂直力の着力点は G の前  $0.398l$  の所にあるので大体 station No. 9 を境としてそれより前に Side Thruster があれば順旋回、それより後にあれば逆旋回をするわけである。

Side Thruster が  $\infty$  (厳密には重心) かそれより後にある場合には船は初めから逆旋回に入りそのまま逆旋回を続ける。

Side Thruster が G より前にある時は初期に順旋回を行ない、途中から逆旋回に転ずるが、逆転する迄の時間およびそれまでに到達する順旋回の最大角速度は Side Thruster が前に移る程大きくなる。

Side Thruster が垂直力の着力点を超えると順旋回だけになる。

なお Fig. 2.2 の縦軸は  $a_4$  で割ってあり、 $a_4$  は Thrust  $Y_b$  であるから縦軸は単位 Thrust 当りの無次元角速度に相当する。

b) 前進速度の影響

前進速度 0 の場合は角速度は近似的に (2.14) 式のごとくなり旋回方向は順旋回である。速度の 2 乗に比例する抵抗を実験で求めて角速度を計算すると Fig. 2.3 の  $U=0$  の曲線となる。

前進速度 0 の場合には Side Thruster は有効で、この場合の角速度の大きさは船尾に同じ大きさの横推力を加えた場合とほとんど同じになる。

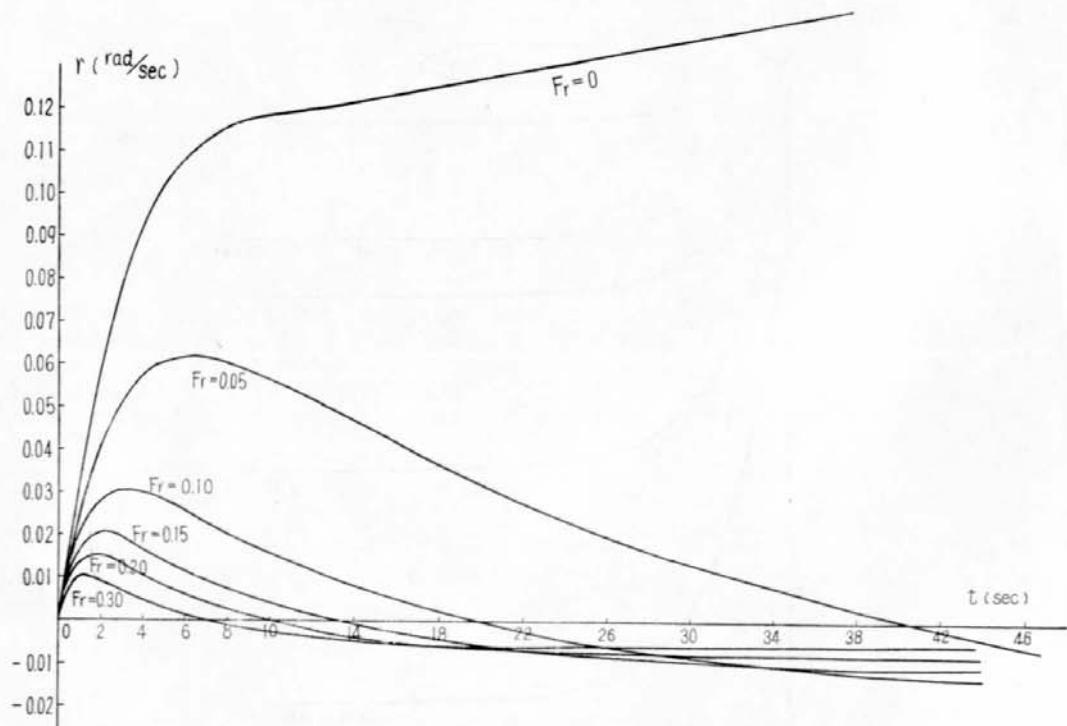


Fig. 2.3 Influence on Advance Speed

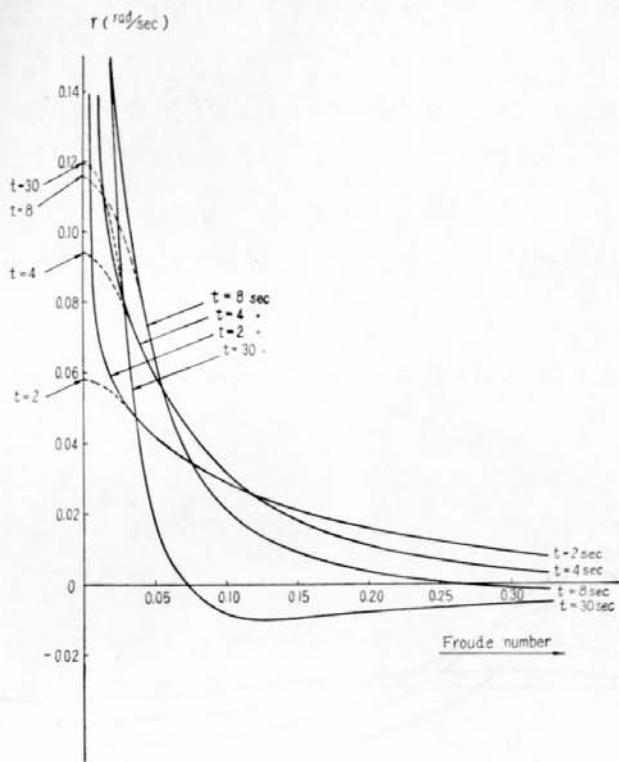


Fig. 2.4 Influence on Advance Speed

前進速度がある場合、線型方程式が使える程度に前進速度が大きい時は解は(2.9)式のごとくなる。

速度の影響を調べるために(2.9)式を次元のある形に書き換えると

$$r' = r \frac{l}{U}$$

$$= \frac{E'}{C'} \left\{ 1 + \dots \right\}$$

もし垂直力、Side Thruster の Thrust 共に速度の2乗に比例するなら 右辺は速度に拘らず一定となるが、実際は Thrust は速度に関係なく一定ゆえ

$$r \left( \frac{l}{U} \right) \propto \frac{1}{U^2} \quad \text{従って} \quad r \propto \frac{1}{U}$$

となり、角速度は前進速度の増加に反比例して減少する。

また

$$t = t' \frac{l}{U} \quad \text{より}$$

順旋回から逆旋回に反転するまでの時間は前進速度が大きくなるに従って短くなる。

Fig. 2.3 は  $l_b = 0.35l$  (station No.  $8^{1/2}$ ) の場合についての結果であり、前進速度と共に Side Thruster の効果が急激に減少することを示している。

Fig. 2.4 は Fig. 2.3 で異った Froude No. において経過時間はそれぞれ 2sec、4sec、8sec および 30sec の時の角速度を読み取って Fr. No を基線にして図示したもので 前進速度と共に  $\frac{1}{U}$  に比例して角速度が減少していることが判る。 $U \rightarrow 0$  で  $r \rightarrow \infty$  となるが (図中実線)、 $U$  の非常に小さい所

では現象は非線型となり、図中の点線のごとく線型の解から外れて  $U=0$  の時の値に連続に繋がるものと予想される。

速度 0 の場合の回転抵抗値および微速状態での非線型方程式の諸係数については Rotating Arm により旋回半径が船長にくらべて極めて小さい場合の強制旋回実験を行なって求めるべく準備中である。

Side Thruster 同じ位置に舵をつけた場合には、舵の力がほぼ  $U^2$  に比例すると考えると

$$\tau \propto U$$

となるから、角速度と速度との関係は Fig. 2.5 のごとくなるものと予想される。

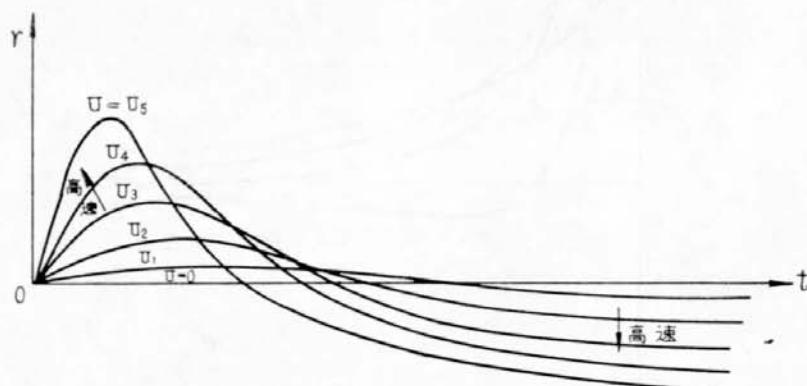


Fig. 2.5

(元良誠三、藤野正隆、根来明雄)

### 3. Side Thruster を作動したときの船体運動

Side Thruster を作動させたときの船体運動の研究のうち、微速前進中に舵および Side Thruster を作動させたときの船体運動を近似計算した例を示す。

#### 3.1 運動方程式

Side Thruster を作動させたときの船体運動を表わす運動方程式は、舵取ったときの運動方程式に対し、外力として Side Thruster の推力が加わるだけであると考える。Side Thruster を作動させたときも線型的取り扱いができるものとして、旋回運動方程式を次のように表わす。

座標系および記号を Fig. 3.1 のようにとる。

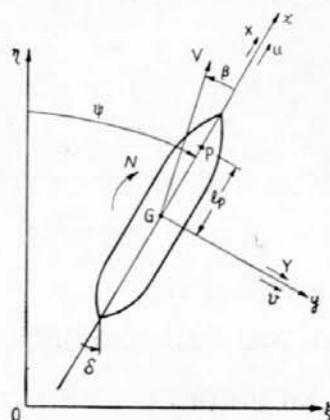


Fig. 3.1

$$-\mu_y \frac{d\dot{\beta}}{ds} + \mu_x \dot{\phi} = C_Y \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ただし

$\mu_x = \frac{M_x}{\rho_0 c_s L^2 d}$  :  $x$  軸方向の質量係数（見掛け質量を含む）

$$\mu_y = \frac{M_y}{\rho_0^2 \cdot L^2 d} : y \text{ 軸方向の質量係数 ( ハ ) }$$

$$\mu_z = \frac{I_z}{\rho \cdot \frac{1}{2} \cdot L^4 d} : z \text{ 軸まわりの慣性能率係数 (見掛け慣性能率を含む)}$$

$M_x$  :  $x$  軸方向質量（見掛け質量を含む）

$$M_y : y \text{ 軸方向質量} (\text{kg}) = \rho V (1 + m_y/m_o)$$

$I_z$  :  $z$  軸まわりの慣性能率（見掛け慣性能率を含む）=  $\rho F \{(k_x/L)^2 + (k_z/L)^2\}^2$

$L$  : 船の長さ

*d* : 船の喫水

$V$  : 船の前進速度

$\psi$  : 無次元化された旋回角速度

$\beta$  : 重心位置における横流し角

$$ds = \frac{V}{L} dt \text{ または } S = \frac{1}{L} \int_0^t V dt$$

$C_Y = \frac{Y}{\rho_2 L d V^2}$  : Side Thruster および舵を作動させたとき、船体に働く力の  $y$  軸方向成分の無次元係数

$C_N = \frac{N}{\rho_2 L^2 d V^2}$  : Side Thruster および舵を作動させたとき、船体に働く力の  $z$  軸まわりのモーメントの無次元係数

$C_Y$ ,  $C_N$  の成分は、舵をとったときの旋回運動に対する場合と同様  $\dot{\phi}$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  の線形関数で表わされるものとし、Side Thruster を作動させたときは、これにその成分が加わるものと考える。Side Thruster による成分は Impeller の回転数に関するほか、 $\dot{\phi}$ ,  $\beta$  によって影響を受けるものと考え、次のように仮定する。

$$C_Y = C_{Y\beta} \cdot \beta + C_{Y\dot{\phi}} \cdot \dot{\phi} - C_{Y\delta} \cdot \delta \mp f_Y(n, \beta, \dot{\phi}) \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$$C_N = C_{N\beta} \cdot \beta - C_{N\dot{\phi}} \cdot \dot{\phi} + C_{N\delta} \cdot \delta \mp f_N(n, \beta, \dot{\phi}) \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

ただし

$C_{Y\beta}$ ,  $C_{N\beta}$ : 横流し角  $\beta$  が生じたとき船体に働く力の  $y$  軸方向成分の Derivatives および  $z$  軸まわりのモーメントの Derivatives

$C_{Y\phi}$ ,  $C_{N\phi}$ : 旋回角速度  $\dot{\phi}$  が生じたとき船体に働く力の  $y$  軸方向成分の Derivatives および  $z$  軸まわりのモーメントの Derivatives

$C_{Y\delta}$ ,  $C_{N\delta}$ : 舵角  $\delta$  を与えたとき船体に働く力の  $y$  軸方向成分の Derivatives および  $z$  軸まわりのモーメントの Derivatives

$n$  : Side Thruster Impeller の回転数

$\delta$  : 舵角

干符号 : Side Thruster の発生する推力が舵に働く力の  $y$  軸方向成分と同方向のとき “-”、  
反対方向のとき “+”

Side Thruster による成分  $f_Y(n, \beta, \dot{\phi})$  を次のように仮定する。Side Thruster の Impeller の単獨特性を次のように近似して推力を求める。

$$C_T = a'(J_t - J)$$

$$T = C_T \rho n^2 D_0^4 = a'(J_t - J) \rho n^2 D_0^4$$

Side Thruster の作動によって生ずる Axial Force  $F$  は単独試験結果によると、推力  $T$  と同様の変化をするようであるから

$$T + F = a(J_t - J) \rho n^2 D_0^4$$

ただし

$$a = \frac{1}{J_t} (C_{To} + C_{Fo}) \quad J = \frac{v}{nD_0}$$

$C_{To}$  : Impeller の Slip Ratio 100% のときの推力係数

$J_t$  :  $C_T = 0$  となるときの推力係数

$D_0$  : Impeller の直径

$v$  : Impeller への流入速度

したがって Side Thruster の発生する推力による  $C_Y$  の成分は

$$\begin{aligned} f_Y(n, \beta, \dot{\phi}) &= \frac{T - F}{\rho/2 \cdot LdV^2} = \frac{2an^2D_0^4}{LdV^2} (J_t - J) \\ &= \frac{2aD_0^2J_t}{Ld} \left( \frac{nD_0}{V} \right)^2 - \frac{2aD_0^2}{Ld} \left( \frac{nD_0^2}{V} \right) \frac{v}{nD_0} \\ &= \frac{2aD_0^2J_t}{Ld} j^2 - \frac{2aD_0^2}{Ld} j \cdot \beta_s \end{aligned}$$

ただし

$$j = \frac{nD_0}{V} = \frac{nD_0}{v} \cdot \frac{v}{V} = \beta_s/J$$

$$\beta_s = \frac{v}{V} : \text{Side Thruster 装備位置における横流れ角}$$

旋回が発達し始めて横流れ角が生じてくると Side Thruster への流れは  $\beta_s$  によって影響を受けることになる。Side Thruster は普通 S.S. 9 から  $9\frac{1}{2}$  の間に装備されるものとすると、転心位置より前方にあることになる。したがって

$$\tan \beta_s = \frac{l_t - l_p}{R} = \frac{\dot{\phi}}{L} (l_t - l_p)$$

$$\therefore \beta_t = \frac{l_t}{L} \dot{\phi} - \beta$$

ただし

$l_p$  : 船体重心から転心までの距離

$l_t$  : 船体重心から Side Thruster 装備位置までの距離

$R$  : 旋回半径

したがって

$$f_Y(n, \beta, \dot{\phi}) = \frac{2aD_0^2 J_t}{Ld} j^2 - \frac{2aD_0^2}{Ld} j \left( \frac{l_s}{L} \dot{\phi} - \beta \right) \\ = C_{Yt} j^2 + C_{Yt\beta} j \beta - C_{Yt\phi} j \dot{\phi} \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$f_N(n, \beta, \dot{\phi}) = \gamma_t f_Y(n, \beta, \dot{\phi}) \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

ただし

$$\gamma_t = l_t L \quad C_{Yt} = \frac{2aD_0^2 J_t}{Ld}$$

$$C_{Yt\beta} = \frac{2aD_0^2}{Ld} \quad C_{Yt\phi} = \frac{2aD_0^2 \gamma_t}{Ld}$$

(3.1) ~ (3.6) により Side Thruster を作動したときの旋回運動方程式は

$$\mu_y \frac{d\beta}{ds} = -C_{Y\beta} \cdot \beta + (\mu_x - C_{Y\phi}) \dot{\phi} + C_{Y\delta} \cdot \delta \pm (C_{Yt} j \\ + C_{Yt\beta} \cdot \beta - C_{Yt\phi} \cdot \dot{\phi}) j \quad \dots \dots \dots (2.7)$$

$$i \frac{d\dot{\phi}}{ds} = C_{N\beta} \cdot \beta - C_{N\phi} \cdot \dot{\phi} + C_{N\delta} \cdot \delta \mp (C_{Yt} j + C_{Yt\beta} \beta - C_{Yt\phi} \cdot \dot{\phi}) \gamma_t j \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

舵を取ったときの旋回運動方程式に Side Thruster の成分を含めると、非線形連立微分方程式になる。このような取り扱いをするときには、舵だけを取ったときの旋回運動に対しても非線形項を入れ実験値に合うようにすべきであろう。

### 3.2 計算例

総合性能試験案に示された Super Tanker、Super Liner を対象に計算する。ここで問題になるのは Resistance Derivatives の算定であるが、供試船に対してはこれらが求められていないので、同型船の資料より推定する。

(1) Super Tanker に対して

M No. 1379 に対しては

$$L=6.00m \quad B=0.817m \quad d=0.332m \quad A=1,300kg$$

$$L/B=7.32 \quad d/B=0.406 \quad F/L^2d=0.1075$$

$$C_b=0.80 \quad A_R/Ld=1/73.7$$

慣性の係数  $\mu_x$ 、 $\mu_y$ 、 $i$  に対しては文献 (1) より

$$m_y/m=0.81 \quad k_z/L=0.193$$

$$\mu_y \frac{F}{L^2d} 2 \left( 1 + \frac{m_y}{m} \right) = 0.386$$

$$i = \frac{F}{L^2d} 2 \left\{ (k_0/L)^2 + (kz/L)^2 \right\} = 0.0211$$

ただし  $k_0/L=0.25$  と仮定する。

Resistance Derivatives は文献 (2) より、同型の Super Tanker に対する操縦性指数より求められる。

$$F/L^2d=0.108 \quad C_b=0.80 \quad A_R/Ld=1/71.6$$

に対する操縦性試験（周波数応答試験）結果より

$$K' = 1.89 \quad T_1' = 4.13 \quad T_2' = 0.56 \quad T_3' = 1.34$$

が得られる。

$K\dot{\beta}/K' = 0.39$  と仮定して計算すると

$$C_N\dot{\delta} = \frac{K'T_3'}{T_1'T_2'} i = 0.0231$$

$$C_Y\dot{\delta} = \frac{1}{\gamma_r} C_N\dot{\delta} = 0.0462 \quad \gamma_r = l_r/L = 0.5$$

$$C_N\dot{\phi} = \frac{K\dot{\beta}}{K'} \left( \frac{T_1' + T_2'}{T_1'T_2'} - \frac{1}{T_3'} \right) \mu_y - \frac{T_3'}{\gamma_r T_1'T_2'} i = 0.0330$$

$$\frac{K\dot{\beta}}{K'} \frac{\mu_y}{i} - \frac{1}{\gamma_r}$$

$$C_N\dot{\beta} = \mu_y \gamma_r \left( \frac{1}{T_3'} - \frac{T_1' + T_2'}{T_1'T_2'} + \frac{C_N\dot{\phi}}{i} \right) = 0.0546$$

$$C_Y\dot{\beta} = \mu_y \left( \frac{T_1' + T_2'}{T_1'T_2'} - \frac{C_N\dot{\phi}}{i} \right) = 0.1795$$

$$\mu_x - C_Y\dot{\phi} = \frac{K\dot{\beta}}{K'} \cdot \frac{\mu_y}{T_3'} - \frac{C_N\dot{\phi}}{\gamma_r} = 0.0435$$

Side Thruster に対しては、単獨特性より S.S.  $9^{1/2}$  の位置に装備するとして

$$l_t = 2.7 \text{m} \quad \gamma_t = l_t/L = 0.45$$

$$D_0 = 0.09 \text{m} \quad J_t = 0.82$$

$$a = \frac{C_{TO} + C_{FO}}{J_t} = 0.298$$

ただし  $V_s$ : 実船対応速力

$n' = n/10$  として

$$C_{Yt} \cdot j^2 = 0.001662 \frac{n'^2}{V^2}$$

$$C_{Yt\dot{\beta}} \cdot j = 0.002252 \frac{n'}{V}$$

$$C_{Yt\dot{\phi}} \cdot j = 0.001014 \frac{n'}{V}$$

$n$  が一定のとき、 $V$  が大きくなれば急激に Side Thruster の効きがわるくなる。

$V = 0.35 \text{m/s} \sim 0.15 \text{m/s}$  に対する値は

$V(\text{m/s})$	$V_s(kt)$	$C_{Yt} \cdot j^2$	$C_{Yt\dot{\beta}} \cdot j$	$C_{Yt\dot{\phi}} \cdot j$
0.35	3.83	0.0136 $n'^2$	0.00644 $n'$	0.00290 $n'$
0.30	3.27	0.0185 $n'^2$	0.00751 $n'$	0.00338 $n'$
0.25	2.74	0.0266 $n'^2$	0.00900 $n'$	0.00406 $n'$
0.20	2.19	0.0416 $n'^2$	0.0113 $n'$	0.00507 $n'$
0.15	1.64	0.0739 $n'^2$	0.0150 $n'$	0.00676 $n'$

船の運動は操舵速度によって異なるから Side Thruster を作動させる場合でも Impeller の回転数の上昇の割合によって異なってくる。Impeller の回転数は、模型船の場合は電動機で駆動すると、所定の回転数まで Step 状に変化させうるが、実船の場合 Diesel で駆動すると、その回転数の上昇に従うことになる。操舵速度に対しては操舵試験の場合と同様  $70^\circ/30\text{sec}$  とし、時間に対して直線的に変化するものとし

$$\frac{d\delta}{ds} = 0.84$$

Impeller の回転上昇は次の各場合について計算し、その影響を求める。

$$\frac{dn}{ds} = 5.0, 10.0, 20.0 \quad \text{Step Function}$$

舵だけを作動したときの定常値は  $\delta=10^\circ$  のとき

$$\dot{\psi} = 0.327$$

$$\beta = 0.124$$

Fr. No. 0.0391 で前進中に Side Thruster だけを作動したときの定常値は

$$n=10\text{rps} \text{ のとき}$$

$$\dot{\psi} = -0.130$$

$$\beta = 0.0661$$

となる。

Side Thruster だけを作動させたときの  $\beta$  の値は、舵だけ作動させて旋回する場合と逆符号になり転心は重心より後方にきて Fig. 3.2 のようになることを示している。

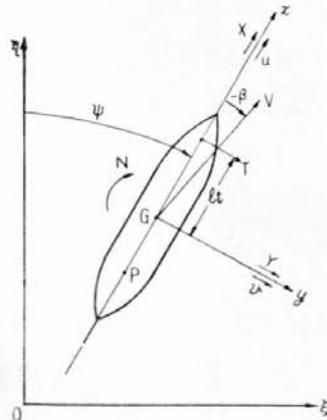


Fig. 3.2

Side Thruster だけを作動させて旋回することなく、舵と組み合わせてこまかく操船する機会が多いと考えられるので、Side Thruster を作動させて船の運動が定常になるまでの過渡状態が重要と考えられる。

このときの運動を Analog Computer (低速度型) を利用して求める。

## (2) Super Liner に対して

M. No. 1463 に対しては

$$\begin{aligned}
L &= 6.00 \text{m} & B &= 0.8572 \text{m} & d &= 0.3572 \text{m} \\
\Delta &= 1.146 \text{kg} & L/B &= 7.0 & d/B &= 0.416 \\
\Delta/L^2d &= 0.0856 & C_b &= 0.6235 & A_R/Ld &= 1/50
\end{aligned}$$

慣性係数  $\mu_y$ ,  $i$  に対しては文献(1)より

$$\begin{aligned}
m_y/m &= 0.985 & k_z/L &= 0.220 \\
\mu_y &= 0.340 & i &= 0.0190
\end{aligned}$$

ただし  $k_0/L = 0.25$  と仮定する。

Resistance Derivatives は文献(3)より

$$\begin{aligned}
C_Y \dot{\beta} &= 0.580 & C_Y \phi &= 0.151 & C_Y \delta &= 0.0400 \\
C_N \beta &= 0.0310 & C_N \phi &= 0.0260 & C_N \delta &= 0.0200
\end{aligned}$$

Side Thruster に対しては Super Tanker の場合と同じ型式のものとすると、

$$C_{Yt} j^2 = 0.0165 n'^2 / V^2$$

$$C_{Yt} \beta j = 0.00667 n' / V$$

$$C_{Yt} \phi j = 0.00301 n' / V$$

操舵速度、Side Thruster Impeller の回転上昇の割合も同様にして

$$d\delta/ds = 0.594$$

$$dn/ds = 5.0$$

とする。

両船型に対し、舵および Side Thruster を作動させたときの旋回運動方程式(2.7)、(2.8)に、上に得た各係数を代入して次の各場合の計算を行なった。

- i) Side Thruster だけを作動させたとき。
- ii) Side Thruster と舵を同方向に作動させたとき。
- iii) Side Thruster と舵を反対方向に作動させたとき。

これらを舵だけ作動させた場合と比較して示す。

### 3.3 計算結果の考察

#### (1) Side Thruster だけを作動させたとき

計算結果を Fig. 3.3 および Fig. 3.4 に示す。図はいずれも Fr. No.=0.0391 の場合に Impeller の回転数を変化させた場合の値であるが、Side Thruster を作動させると  $n$  が設定値に達した後で、 $\dot{\phi}$  に最大値が現われ、その後ただちに減少して定常値に達する。この最大値は定常値に対し Super Tanker の場合 30~40%、Super Liner の場合 40~50% 大きい値になっていて、船体運動が Side Thruster の推力に影響をおよぼすことを示している。

$\dot{\phi}$  の値は Tanker の場合には Liner のそれの約 2~2.5 倍となり、舵だけで旋回する場合について、文献(4)に示された  $C_B$  の変化に対する定常旋回中の  $\dot{\phi}$  の値の変化からもわかるように、Liner は回頭しにくいことを示している。

微速状態で旋回するときは、縦および横方向速度の非線形影響が大きく、線形化することは適当でないが、ここに得られた値で定常値の比較をすると Tanker に対して Fig. 3.5 のようになり、Side Thruster を作動させるとき  $\dot{\phi}$  は  $n^2$  に比例して大きくなる。これから舵だけで旋回する場合と等価

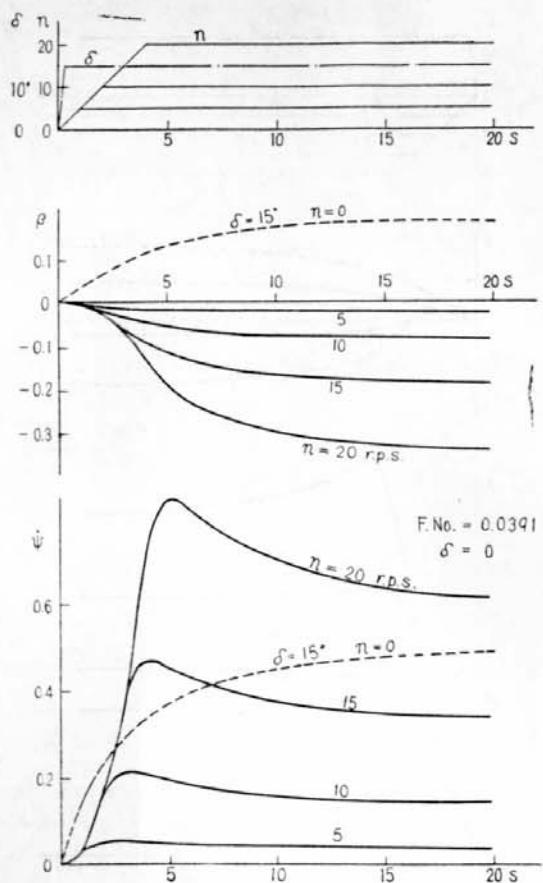


Fig. 3.3 Turning Test using Side Thruster  
(for Super Tanker)

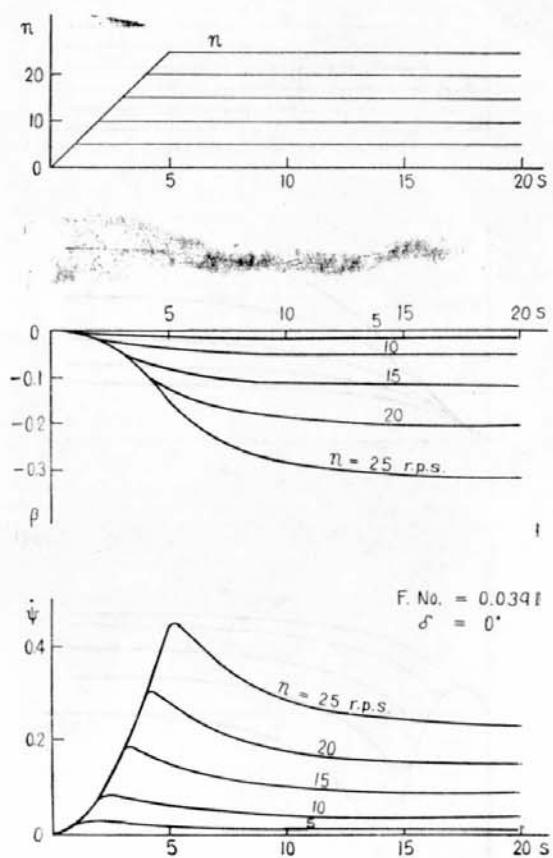


Fig. 3.4 Turning Test using Side Thruster  
(for Super Liner)

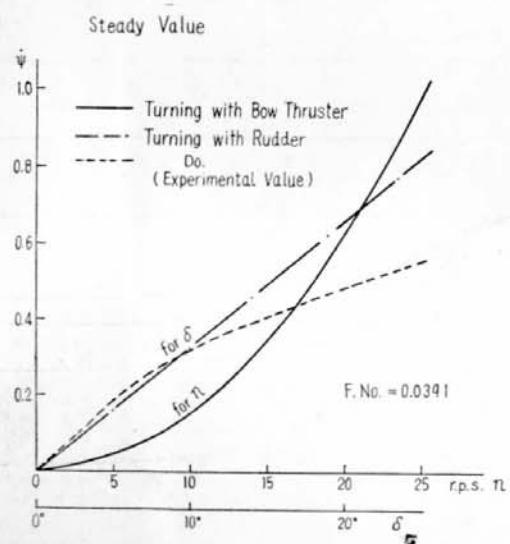


Fig. 3.5 Comparison of Steady Value in Turning  
(for Super Tanker)

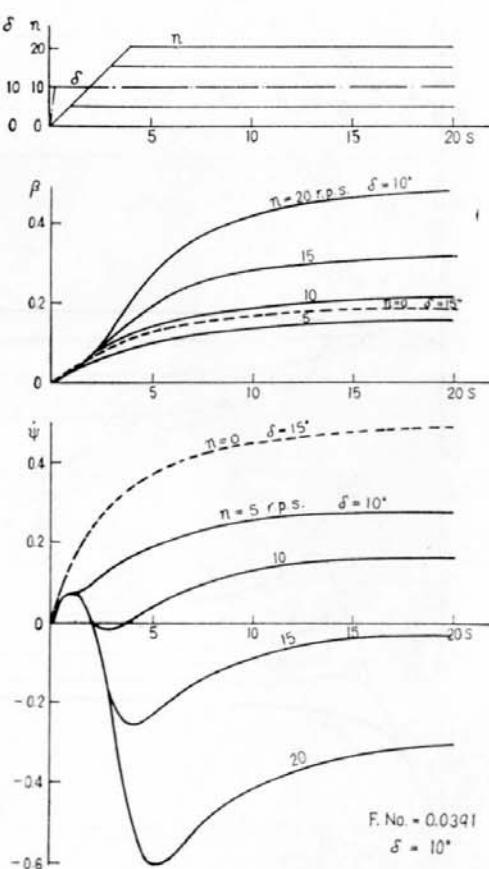


Fig. 3.6 Turning Test using Rudder and Side  
Thruster in Same Direction (for Super Tanker)

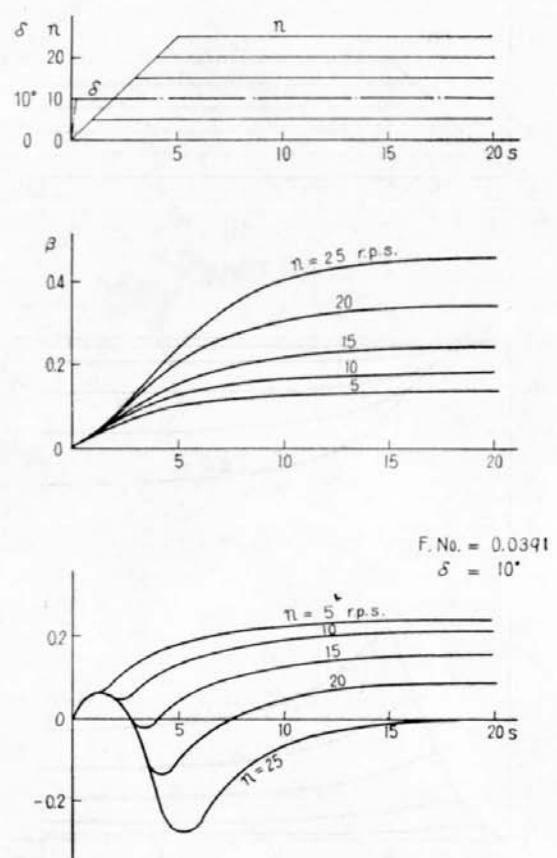


Fig. 3.7 Turning Test using Rudder and Side Thruster in Same Direction(for Super Liner)

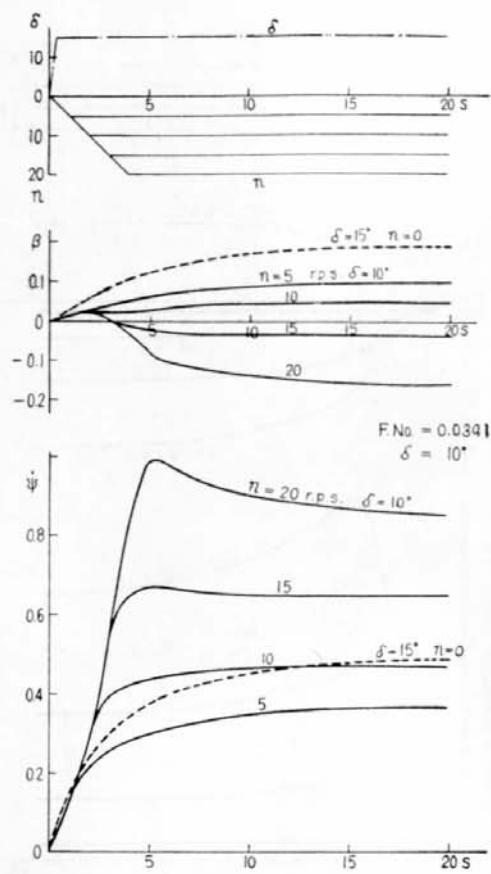


Fig. 3.8 Turning Test using Rudder and Side Thruster in Opposite Direction(for Super Tanker)

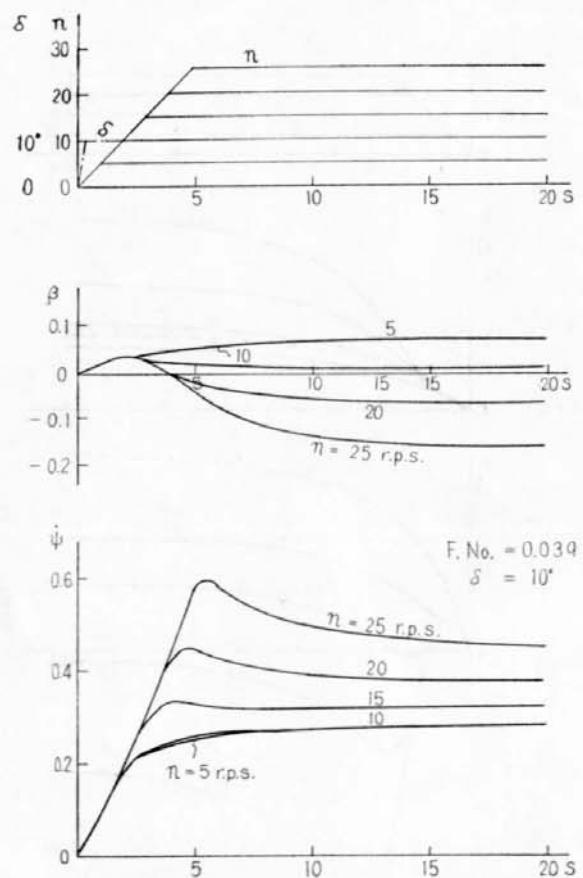


Fig. 3.9 Turning Test using Rudder and Side Thruster in Opposite Direction(for Super Liner)

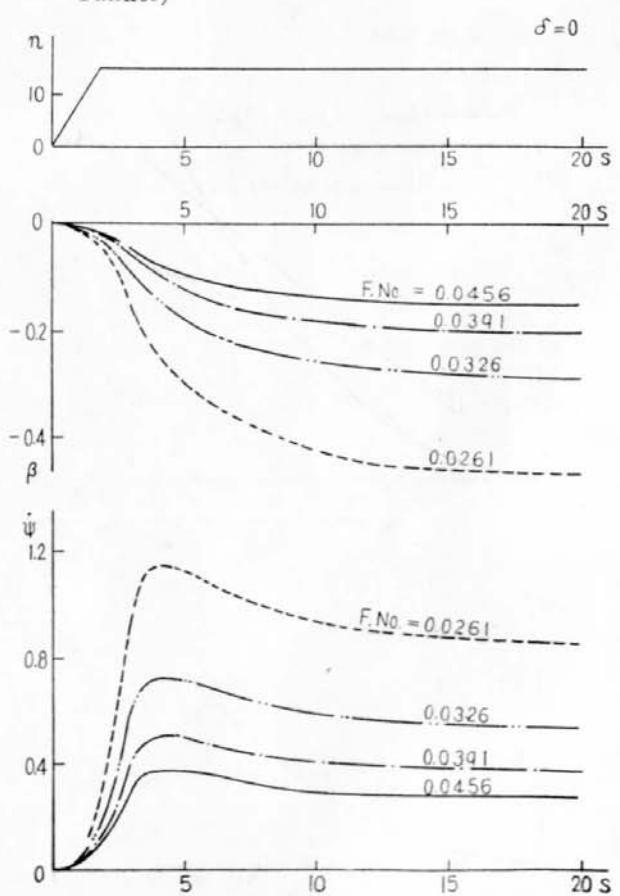


Fig. 3.10 Effect of Ship Speed on Ship Motion (for Super Tanker)

な Side Thruster の回転数を求めるとき  $\delta=10^\circ$  に対して  $n=15\text{rps}$  となる。

#### (2) Side Thruster と舵を同方向に作動させたとき

計算結果を Fig. 3.6 および Fig. 3.7 に示す。舵および Side Thruster の発生する力の  $y$  軸方向成分の大きさいかんにより、船はいずれかの方向に回頭する。図には Fr. No.=0.0391 で  $\delta=10^\circ$  とし、 $n$  を変化した場合の例を示してある。この場合  $\beta$  は非常に大きくなるが、これらの値は  $\delta$  と  $n$  の組み合わせいかんにより変化し、図に示すように  $\dot{\psi}$  の変化がほとんど現われないで  $\beta$  のみ生ずる場合もある。

#### (3) Side Thruster と舵を反対方向に作動させたとき

計算結果を Fig. 3.8 および Fig. 3.9 に示す。図には Fr. No.=0.0391 で  $\delta=10^\circ$  とし、 $n$  を変化した場合の例を示してあるが、 $\dot{\psi}$  が非常に大きく急速旋回することを示している。 $\beta$  はほとんど生じないで、舵と Side Thruster の発生する力の  $y$  軸方向成分の大きさいかんにより、正負いずれの値にもなる。このことからこの場合には転心が重心近くにあることを示している。

#### (4) 船速の変化による船体運動の変化

実船では船速が  $5 \sim 6 \text{kn}$  で Side Thruster の効きが悪くなるといわれるが旋回運動に対する Side Thruster の寄与が  $V^2$  に逆比例する形になっているから当然のことである。Tanker に対して  $n=15\text{rps}$  の場合 Fr. No.=0.0261~0.0456 (実船換算  $2.2 \sim 3.8 \text{kn}$  に対応) に対する  $\dot{\psi}$  の値を Fig. 3.10 に示す。

#### (5) $dn/ds$ の変化が船体運動におよぼす影響

Side Thruster の回転数を設定するまでの速度  $dn/ds$  を変えたときは、丁度操舵速度を変化させた場合と同じように  $\dot{\psi}$ 、 $\beta$  の変化状態に影響を与える。

Super Tanker に対し、Fr. No.=0.0391 の場合に  $n$  を Step 状に変化させたとき  $dn/ds=20, 10, 5$  とおそくしたときの例を Fig. 3.11 に示す。 $dn/ds$  を大きくすると非常に早く回頭するが、実際に Impeller を回転はじめるときのトルクが非常に大きくなることに注意すべきである。

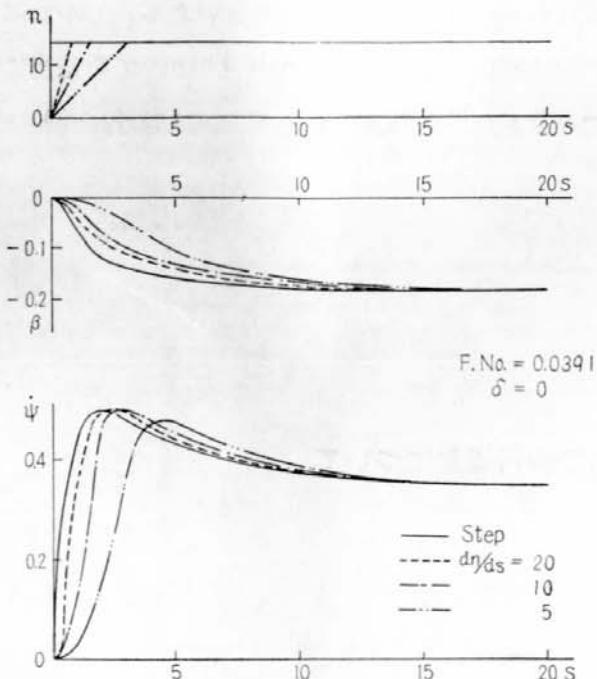


Fig. 3.11 Effect of  $dn/ds$  on Ship Motion  
(for Super Tanker)

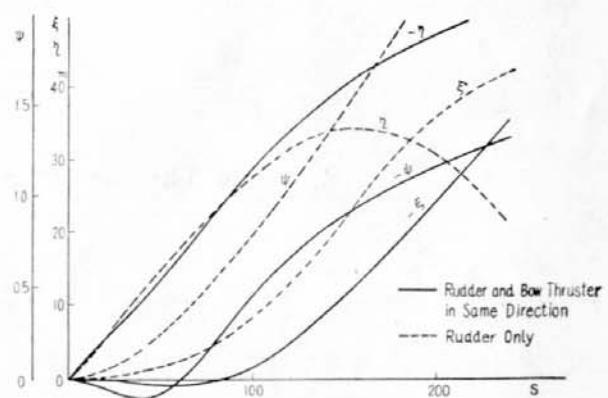


Fig. 3.12 Coordinates of Ship's Position  
(for Super Tanker)

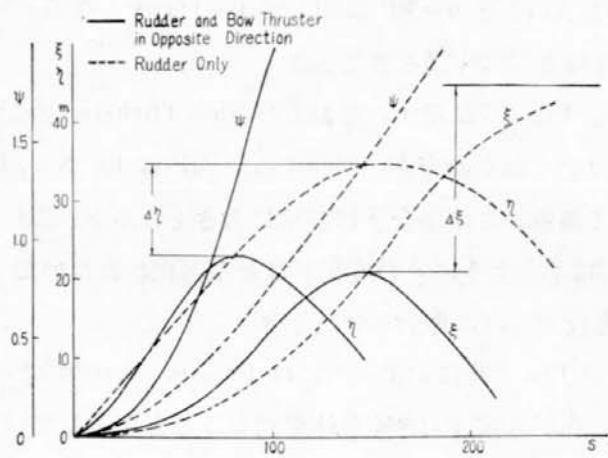


Fig. 3.13 Coordinates of Ship's Position  
(for Super Tanker)

#### (6) 船の航路

Fig. 3.6 および Fig. 3.8 に示した計算結果の一例から航跡を求めて示すと Fig. 3.12 および Fig. 3.13 のようになる。いずれも Fr. No.=0.0391 で  $n=15\text{rps}$ 、 $\delta=10^\circ$  の場合で、舵だけで旋回する場合と比較して示してある。

図には舵と Side Thruster の発生する力が同方向の場合で、この例では Side Thruster の寄与が大きく、舵だけで旋回するときと逆方向に旋回するが、船の斜行運動は期待されるほど顕著でない。

Fig. 3.13 は舵と Side Thruster の発生する力が反対方向の場合で、このときは急速に旋回し、図に示されているように Tactical Diameter の減少量  $\Delta\xi$  は非常に大きく、また Advance の減少量  $\Delta\eta$  もかなり大きく舵だけで旋回する場合の半分の旋回圈で旋回可能になることを示している。

これらの結果を総合すると、微速前進中に Side Thruster を作動させると、急速な旋回を必要とするときは非常に有効で、狭い水路を航行しなければならぬときは好都合であるといえる。しかし斜行して接岸する場合などの操船はかなりむずかしく、一旦停止した後、舵と Side Thruster を適当に組み合わせて使用し前後進をしながら操船する必要があるように推察される。 (藤井 斎)

#### 参考文献

- (1) 元良 誠三 造船協会論文集 105号
- (2) 野本 謙作 ツ 103号
- (3) ツ ツ 110号
- (4) 志波 久光 ツ 105号

### 4. Side Thruster による船の斜行運動について

#### 4.1 緒 言

船の接岸時においては、船を回頭させずに横方向に直角に移動させるのがもっとも理想的と考えられるが、普通船舶はもちろんのこと、Side Thruster を装備した船においても Side Thruster のみでは、このような運動を起させることは、不可能である。そこで次に考えられるのが、船体中心線を岸壁に平行のままで回頭させずにそのままの姿勢で斜行させて接岸する方法である。

以下 Side Thruster を装備した船の斜行性能について考察を行なうことにする。

#### 4.2 運動方程式とその解

この時の船の運動方程式は Fig. 4.1 から次のように求めることができる。

$$M\dot{V}_x + F_D + R_x - T = 0 \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

$$N\dot{V}_y - F_L + R_y - T_s = 0 \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

$$F_L l_r + R_y l_0 - T_s l_s = 0 \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

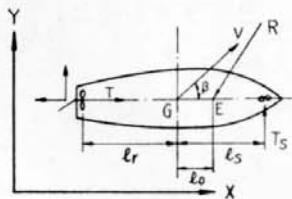


Fig. 4.1

ここに

$M$ 、 $N$ ：船の質量 +  $x$ 、 $y$  方向の附加質量

$R_x$ 、 $R_y$ ：水抵抗  $R$  の  $x$ 、 $y$  方向の成分

$F_D$ 、 $F_L$ ：舵の抗力および揚力

$T$ 、 $T_s$ ：プロペラの推力および Side Thruster の推力

$l_r$ 、 $l_s$ ： $T$  および  $T_s$  の作用点から重心までの距離

$l_0$ ： $R$  の作用点から重心までの距離

〔作用点 E が G の前方にあれば正、後方にあれば負の値をとる〕

$V_x$ 、 $V_y$ ：船の速度  $V$  の  $x$ 、 $y$  方向の成分

水抵抗  $R$  の  $x$  方向成分は摩擦抵抗、 $y$  方向の成分は垂直力のみであると考えても大勢に影響はないと考えると、次の式が成り立つ。

$$R_x + F_D = \frac{1}{2} \rho V_x^2 C_f \cdot 2A + \frac{1}{2} \rho V_x^2 C_{fR} A_R = r_x V_x^2$$

ただし

$$r_x = \frac{1}{2} \rho (C_f \cdot 2A + C_{fR} \cdot A_R) \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

$$R_y = \frac{1}{2} \rho V^2 C_{N(\beta)} \cdot A = r_y V^2$$

ただし、

$$r_y = \frac{1}{2} \rho C_{N(\beta)} \cdot A \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho (1.15 V_x)^2 C_{L(\delta)} A_R = f V_x^2$$

ただし、

$$f = \frac{1.15^2}{2} \rho C_{L(\delta)} A_R \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

ここに

$C_f$ 、 $C_N$ ：船の摩擦抵抗係数および垂直力係数、

$A$ 、 $A_R$ ：船の水線下側面積および舵面積

$C_{fR}$ 、 $C_L$ ：舵の摩擦抵抗係数および揚力係数

$\delta$ ：舵角

ただし、

$C_L = C_n \cos \delta$ 、 $C_n$  はジョッセルの舵圧式で  $C_n = \frac{0.811 \sin \delta}{0.195 + 0.305 \sin \delta}$  簡単のために、(4.4)、(4.5)、

(4.6) を使って、(4.1)、(4.2)、(4.3) を書き変えると、

$$M\dot{V}_x + r_x V_x^2 - T = 0 \quad \dots \dots \dots (4.1)'$$

$$M\dot{V}_y + r_y V^2 - fV_x^2 - T_s = 0 \quad \dots \dots \dots (4.2)'$$

$$fV_x^2 l_r + r_y V^2 l_0 - T_s l_s = 0 \quad \dots \dots \dots (4.3)'$$

ここで、 $C_f$ 、 $C_{fR}$  は迎角  $\beta$  によって変化しないものと考えられる。

$T$  を一定と仮定すると (4.1)' の  $V_x$  に関する解は次のようになる。

$$V_x = \begin{cases} \sqrt{T/r_x} \tan h(M\sqrt{r_x T} \cdot t + c) & V_{x0} < \sqrt{T/r_x} \\ \sqrt{T/r_x} \cot h(M\sqrt{r_x T} \cdot t + c) & V_{x0} > \sqrt{T/r_x} \end{cases}$$

$$C = \begin{cases} \operatorname{Tan} h^{-1}(\sqrt{r_x/T} \cdot V_{x0}) & V_{x0} < \sqrt{T/r_x} \\ \operatorname{Cot} h^{-1}(\sqrt{r_x/T} \cdot V_{x0}) & V_{x0} > \sqrt{T/r_x} \end{cases}$$

ここに、 $V_{x0}$  は  $V_x$  の初期値である。

$V_x$  は初期値によって異なった表示式となるが、いずれの場合も充分時間が経過した後は一定値に近づく、すなわち、

$$\lim_{t \rightarrow \infty} V_x = \sqrt{T/r_x} = \text{constant}$$

次に、 $V_y$  に関する解は (4.2) に  $V_x$  の解を代入して解けばよい。 (4.2)'、(4.3)' より  $T_s$  を消去すると

$$Nl_s \dot{V}_y + r_y(l_s - l_0)V_y^2 = \{f(l_r + l_s) - r_y(l_s - l_0)\} V_x^2$$

$V_x$  の解を代入すると

$$Nl_s \dot{V}_y + r_y(l_s - l_0)V_y^2 = \{f(l_r + l_s) - r_y(l_s - l_0)\} \left\{ \begin{array}{l} \tan h(M\sqrt{r_x T} \cdot t + c) \\ \cot h(M\sqrt{r_x T} \cdot t + c) \end{array} \right\}$$

$r_y$ 、 $l_0$  も実は  $\tan^{-1}(V_y/V_x)$  の関数であるため、この方程式は簡単には解けない。そこで、今  $T_s$  が求まったとし、 $\lim_{t \rightarrow \infty} T_s = \text{Const.}$  であると仮定する。この時 (4.3)' より当然  $\lim_{t \rightarrow \infty} V_y = \text{Const.}$  である。

よって

$$\lim \dot{V}_y = \lim \dot{V}_x = 0$$

すなわち、 $T$ 、 $T_s$  が一定ならば、充分時間が経過すれば船は一定方向を一定速度で斜行し運動は定常となる。過渡期における船の運動を論することは、このままの形では困難であると考えられるので、これは他の考察によることにして、ここでは簡単のために、先ず正常状態における船の運動を論ずることにする。この時、船の運動式は

$$r_x V_x^2 - T = 0 \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

$$r_y V^2 - f V_x^2 - T_s = 0 \quad \dots \dots \dots (4.8)$$

$$r_y l_0 V^2 - f l_r V_x^2 - T_s l_s = 0 \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

となる。これを解いて

$$V_x^2 = T / r_x \quad \dots \dots \dots (4.10)$$

$$V^2 = \frac{f(l_s + l_0)}{r_x r_y (l_s - l_0)} \cdot T \quad \dots \dots \dots (4.11)$$

$$T_s = \frac{f(l_r + l_0)}{r_x (l_s - l_0)} \cdot T \quad \dots \dots \dots (4.12)$$

( $r_y, l_0$  は  $\beta$  の関数、 $f$  は  $\delta$  の関数)

$$\frac{T_s}{T} = \frac{r_y}{r_x} \frac{l_r + l_0}{l_s + l_r} \sec^2 \beta \quad \dots \dots \dots (4.13)$$

$$\cos^2 \beta = \frac{r_y (l_s - l_0)}{f(l_s + l_r)} \quad \dots \dots \dots (4.14)$$

をうることができる。

これからわかる様に、Side Thruster を装備した船は斜行が可能となるが、その時の迎角は、迎角によって一意的に定まる。またこの時の Thruster の推力と、船の推力の比も (4.13) 式から一意的に定まる。

すなわち、舵角を一定にして  $T_s$  および  $T$  のみで斜行角をいろいろ変えることは不可能である。

以上の結果、Side Thruster によって船が斜行するときの最大迎角は船体が決まれば一意的に定まり、Side Thruster や船の推力によって変えることができないということになる。

次に、それでは最大迎角  $\beta_{max}$  はどの程度のものとなるであろうか、 $\beta$  を求めてみることにする。

(4.14) 式より

$$\cos^2 \beta = \frac{\frac{1}{2} \rho C_{N(\beta)} A (l_s - l_0)}{\frac{1.15^2}{2} C_{L(\delta)} A_R (l_s + l_r)} \quad \dots \dots \dots (4.14')$$

ここに

$C_N$  : 船の垂直力係数

$C_L$  : 船の揚力係数

$A$  : 船の水線下側面積

$A_R$  : 舵面積

$l_0$  は次のようにして求められる。

すなわち、船が迎角  $\beta$  で斜行しているとき船体に働く偶力は  $R_y l_0$  であり、これはまた、 $\frac{1}{2} \rho A (l_r + l_s) V^2 C_m$  ( $C_m$  はモーメント係数) とも表わされるから二式を等置して、

$$R_y l_0 = \frac{1}{2} \rho A (l_r + l_s) V^2 C_m \quad \dots \dots \dots (4.15)$$

ここに  $R_y$  は船にかかる垂直力で、次の式で表わされる。

$$R_y = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_N \quad \dots \dots \dots (4.16)$$

(4.16) を (4.15) に代入すると

$$l_0 = (C_m/C_N) \cdot (l_r + l_s) \quad \dots \dots \dots (4.17)$$

このようにして、 $C_m$ 、 $C_N$  が求まれば、 $l_0$  が求まり  $\beta$  を算出することができる。

ここで  $C_m$  および  $C_N$  を求めるには、井上教授の方法（造船協会論文集90号）を利用することにする」と、次のように与えられる。

$$C_m = \frac{\pi}{4} \cos \beta \left( r_0 - \frac{A_2}{2} \right) + Cm' \quad \dots \dots \dots (4.18)$$

$$C_N = \frac{2\pi \sin \beta \cos \beta}{1 + \frac{2}{k} \cos \beta} + 2 \sin^2 \beta \quad \dots \dots \dots (4.19)$$

ここに、 $r_0 - A_2/2 = f(k) \sin \beta$

$f(k)$  はアスペクト比  $k$  の関数で、 $k$  との関係は同教授によって与えられており、これを転載すると Fig. 4.2 のように示されている。

(4.17) 式を (4.14') 式に代入すると、

$$\cos^2 \beta = \frac{0.755}{C_L} \cdot \frac{A}{A_R} \left( \frac{l_s}{l_s + l_r} C_N - C_m \right) \quad \dots \dots \dots (4.20)$$

$C_N$ 、 $C_m$  は  $\beta$  の複雑な関数であるために、 $\beta$  を陽関数の形に表わし、式の上から一般的な考査を行なうことは困難であるので、ここでは一つの実船について  $\beta$  の計算を行なうこととする。

ただし、 $C_N$ 、 $C_m$  は平板についてのものであるが、これを使用してもほとんど大差ないと思われる。

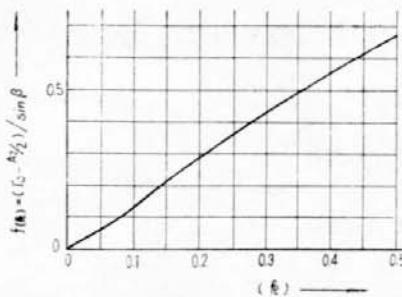


Fig. 4.2

### 4.3 計算例と結果の検討

計算例に使用した実船の主要寸法は、次のとおりである。

船 長 ( $L_{PP}$ )	138m
吃 水	8.85m(満載)      4.43m(軽荷)
舵 面 積 ( $A_R$ )	18.7m <sup>2</sup>
船のアスペクト比 ( $k$ )	0.0641(満載)      0.032(軽荷)

重心が①にあるものと仮定すれば、 $l_s = l_r$

ゆえに (4.17) 式は

$$\cos^2 \beta = 0.755 \frac{A}{A_R} C_L^{-1} \left( \frac{1}{2} C_N - C_m \right) \quad \dots \dots \dots (4.21)$$

$C_L$  は  $C_L \cos \delta$  とおけるから、 $C_n$  にはジョッセルの式を用いることになると、

$$C_L = \frac{0.811 \sin \delta \cos \delta}{0.195 + 0.305 \sin \delta}$$

( $\delta$ : 舵角)

これから、 $\delta$  の若干の値に対する  $\frac{0.755A}{A_R C_L}$  の値を求めるとき、Table. 4.1 のようになる。

Table 4.1

$\delta$	5°	15°	25°	35°
$C_L$	0.319	0.745	0.961	1.02
$0.755 \frac{A}{A_R} C_L^{-1}$ (Full Load Condition)	154	66.5	51.2	48.2
$0.755 \frac{A}{A_R} C_L^{-1}$ (Light Load Condition)	77	33.3	25.6	24.1

またこの場合の  $C_N$ 、 $C_m$  は、(4.13)、(4.14) の両式に

$$\left. \begin{aligned} C_N &= \frac{3.14}{1+3.12 \cos \beta} \sin 2\beta - \cos 2\beta + 1 && (\text{満載}) \\ C_N &= \frac{3.14}{1+62.5 \cos \beta} \sin 2\beta - \cos 2\beta + 1 && (\text{軽荷}) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (4.19')$$

$k$  および Fig. 4.2 より求めた  $f(k)$  の値を代入して計算することができる。

$$\left. \begin{aligned} C_m &= 0.0314 \sin 2\beta && (\text{満載}) \\ C_m &= 0.0157 \sin 2\beta && (\text{軽荷}) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (4.20')$$

ただし、 $C_{m0}$  は無視した。

これらの式を (4.20) に代入すれば、 $\beta$  の方程式が求まる。これを図式解法によって解くために、 $\beta$  に対する  $\left(\frac{1}{2}C_N - C_m\right)$  の値を求めるとき、その結果は、Table. 4.2、Table. 4.3 のようになる。

Table 4.2 Full Load Condition

$\beta$	2.5°	5°	7.5°	10°	12.5°	15°
$C_N$	0.0120	0.0323	0.0606	0.0945	0.1395	0.1845
$C_m$	0.00274	0.00546	0.00814	0.0107	0.0133	0.0157
$\frac{1}{2}C_N - C_m$	0.00326	0.0107	0.0222	0.0366	0.0564	0.0907

Table 4.3 Light Load Condition

$\beta$	2.5°	5°	7.5°	10°	12.5°	15°
$C_N$	0.0081	0.0239	0.0470	0.0775	0.1155	0.1596
$C_m$	0.00137	0.00273	0.00407	0.0054	0.0067	0.0079
$\frac{1}{2}C_N - C_m$	0.00268	0.00922	0.0194	0.0324	0.0511	0.0719

以上から  $\beta$  と (4.21) 式の右辺との関係を舵角  $\delta$  をパラメータとして示すと、Table 4.4 および 4.5 のごとくなる。

Table 4.4 Full Load Condition

$\delta \backslash \beta$	2.5°	5°	7.5°	10°	12.5°	15°
5°	0.502	1.649	3.42	5.540	8.690	13.90
15°	0.223	0.711	1.475	2.430	3.742	6.03
25°	0.167	0.547	1.135	1.872	2.880	4.64
35°	0.160	0.516	1.07	1.760	2.720	4.37

Table 4.5 Light Load Condition

$\delta \backslash \beta$	2.5°	5°	7.5°	10°	12.5°	15°
5°	0.206	0.710	1.495	2.495	3.940	5.54
15°	0.0893	0.306	0.646	1.079	1.703	2.39
25°	0.0686	0.236	0.496	0.829	1.320	1.84
35°	0.0646	0.222	0.467	0.781	1.230	1.73

図式解法によってとくために、Table. 4.4 および Table. 4.5 の値を図に画くと Fig. 4.3 のごとくなる。

Fig. 4.3 の各曲線と  $\cos^2 \beta$  との交点が求めるべき迎角  $\beta$  である。満載、軽荷の両状態に対する迎角を求めるとき、Table. 4.6 のようになる。

Table 4.6

$\beta$	5°	15°	25°	35°
Full Load Condition	3.3°	5.9°	6.9°	7.2°
Light Load Condition	5.9°	9.4°	10.6°	11.1°

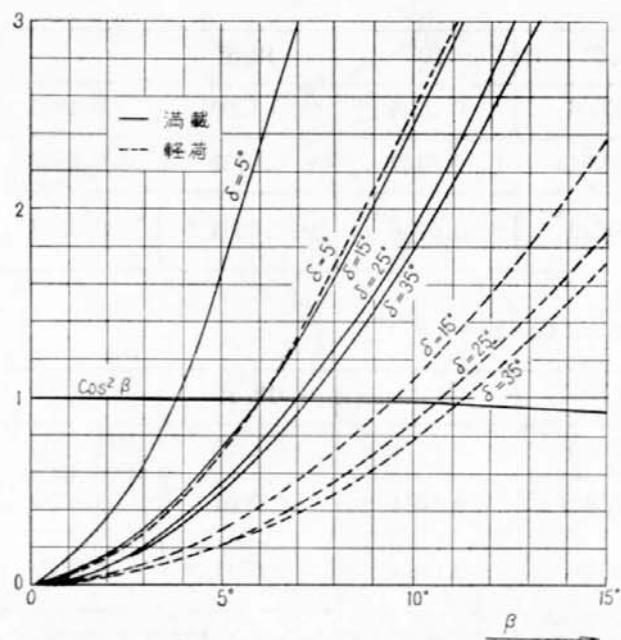


Fig. 4.3

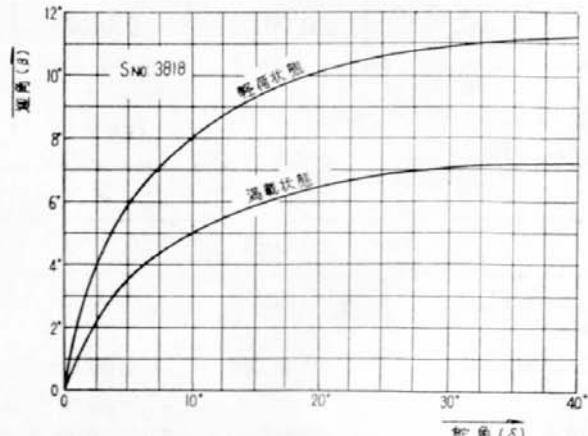


Fig. 4.4

これをもとにして  $\delta - \beta$  曲線を画くと、Fig. 4.4 のごとくなる。満載状態にくらべて軽荷状態の場合迎角はかなり大きくなつてはいるが、いずれにしてもこれらは  $90^\circ$  に比べて非常に小さな値で、最初に述べたように船を大角度で斜行させることは困難なことが、この結果からうかがわれる。このようになった主原因は横方向の抵抗が縦方向にそれに比べると比較にならないほど大きいことであり、船を大角度で斜行させるためには、大きな推力を有する Side Thruster を使用せねばならぬことになるが、また一方、船の回頭を防止するには、舵の発生揚力が、それと同程度のものとなる必要がある。これは舵面積が船の水線下側面積にくらべて非常に小さなものであるため一般には不可能である。

従って船の斜行のみによって接岸するという操船はいささか不適当と考えられる。

最後に参考のために、 $\beta - T_s/T$ 、 $\delta - T_s/T$  曲線を求めるときのようになる。

(4.13) 式に (4.4)、(4.5)、(4.17) 式を代入して、

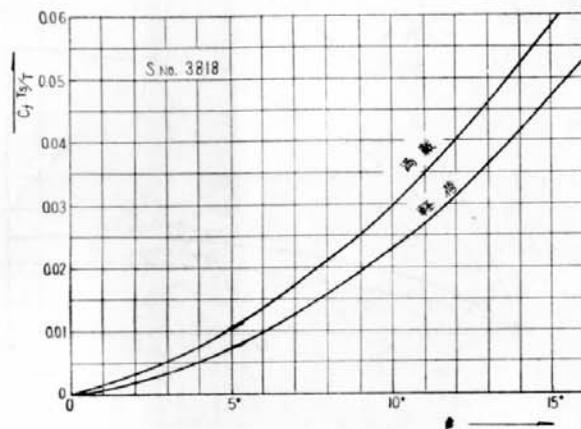


Fig. 4.5

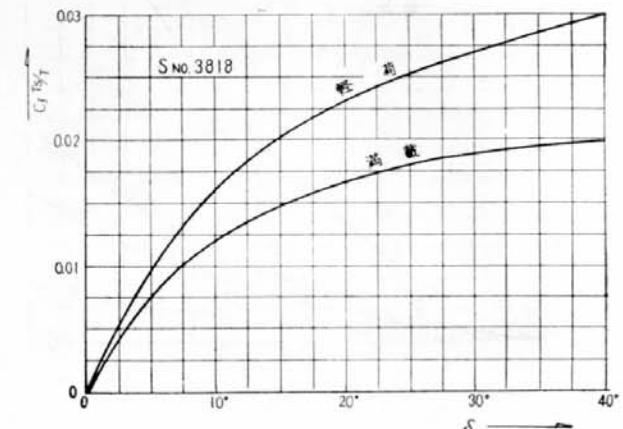


Fig. 4.6

$$\frac{T_s}{T} = \frac{C_N A}{C_f \cdot 2A + C_{fR} A_R} \frac{\frac{C_m}{C_N} (l_r + l_s) + l_r}{l_s + l_r} \sec^2 \beta$$

$l_r = l_s$  とするとき

$$\frac{T_s}{T} = \frac{1}{2} \left( \frac{2C_m + C_N}{2C_f + C_{fR} \frac{A_R}{A}} \right) \sec^2 \beta$$

$C_{fR} A_R / A \ll C_f$  であるから

$$\frac{T_s}{T} \doteq \frac{1}{4} \frac{(C_N + 2C_m) \sec^2 \beta}{C_f} \quad \dots \dots \dots (4.22)$$

ここに、 $C_f$  はレイノールズ数の関数であるから (4.22) 式を書きかえて、

$$C_f \frac{T_s}{T} \doteq \frac{1}{2} (C_N + 2C_m) \sec^2 \beta \quad \dots \dots \dots (4.22')$$

若干の  $\beta$  の値に対する  $C_f \frac{T_s}{T}$  の値をもとめると、Table. 4.7 のようになる。

これから、 $\beta - C_f \cdot T_s / T$  曲線を画くと、Fig. 4.5 のごとくなる。

また Fig. 4.4 と Fig. 4.5 から、 $\delta$  の若干の値に対して  $C_f \cdot T_s / T$  を求めると、Table. 4.8 のようにな

Table. 4.7

$C_f/T_s T$	$\beta$	2.5°	5°	7.5°	10°	12.5°	15°
Full Load Condition		0.00437	4.0109	0.0196	0.0299	0.0436	0.0579
Light Load Condition		0.00271	0.00746	0.0141	0.0228	0.0338	0.0470

Table. 4.8

$C_f T_s / T$	$\delta$	5°	15°	25°	35°
Full Load Condition		0.0076	0.0148	0.0184	0.0190
Light Load Condition		0.0096	0.0205	0.0254	0.0277

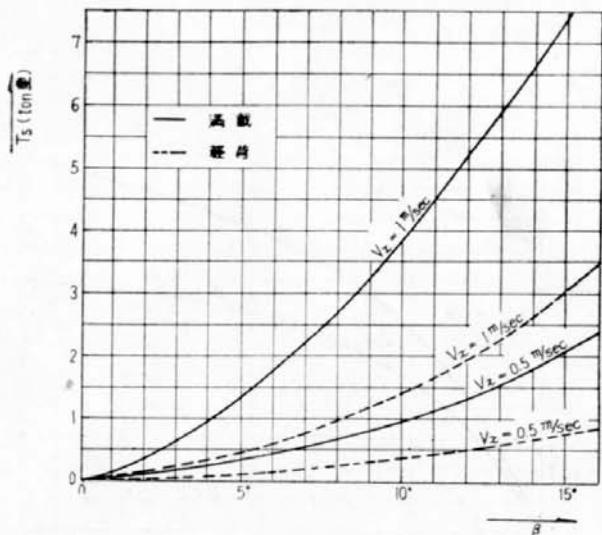


Fig. 4.7

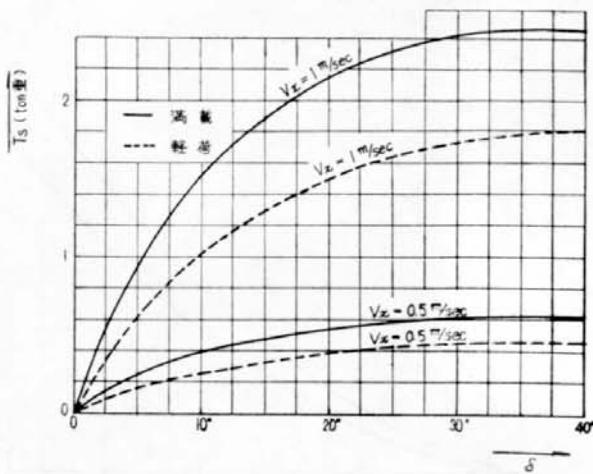


Fig. 4.8

り、 $\delta - C_f \cdot T_s / T$  曲線は Fig. 4.6 のごとくなる。

具体的な例として、

$$V_x = 1 \text{ m/sec}, \quad V_x = 0.5 \text{ m/sec},$$

の 2 つの場合を計算してみることにする。

その結果が、Fig. 4.7 および Fig. 4.8 に示されている。

#### 4. 結 言

以上のように、船をその船体中心線が岸壁と平行のままで、回頭運動はさせないで着岸させるという仮定のもとに、船の運動、特にその斜行角とに着目して計算を行なってみたが、計算例によると、斜行角度は約 11° 以下という小さい角度となった。

したがって Side Thruster を装備した船においても、前進方向の運動のみによって、岸壁と平行に着岸することは困難と考えられる。ゆえに、大角度の斜行運動によって、船を平行着岸させるためには、船のプロペラを逆転させて一たん船の前進速度をほぼ零にしてから、再びプロペラを前進回転させて、舵角をとることによって船尾に、Side Force のみを発生させ、同時に Side Thruster を作動させることによって船首にも Side Force を発生させて両者によってほぼ真横方向に移動させるなどの特殊な操船上のくふうが必要であるものと判断される。

なお、この計算は日立造船技術研究所第 2 研究室の高木又男、松井政博両氏によって遂行されたものであることを付記しておく、

(岡田正次郎)

昭和39年6月27日 印刷  
昭和39年6月30日 発行  
日本造船研究協会報告 第42号  
発行人 菅 四 郎  
発行所 社団法人日本造船研究協会  
東京都港区芝琴平町35  
「船舶振興ビル」8階  
電話 (502) 2371~80  
内線(421~426)  
印刷所 株式会社 青 光 社  
東京都品川区五反田 1の249  
電話 (441) 0006, 4444, 2020