

## 幅広肥大船の操縦性能について

森 信篤\*・山本徳太郎\*・森 政彦\*

### On the Manoeuvrability of Huge and Wide Beam Tankers

By

Nobuatsu MORI, Tokutaro YAMAMOTO and Masahiko MORI

#### Abstract

Recently, tankers and ore-carriers have a tendency to become larger and wider, however, we scarcely find any data of a series test on manoeuvrability of these ships.

In order to investigate the effect of L/B upon manoeuvrability of the wide beam ships, a series of manoeuvring test on three tanker models, L/B of which were 4.0, 5.0 and 6.0, was carried out. The tanker of 5.0 in L/B is regarded as the mother ship.

The effects of rudder form and its area ratio upon manoeuvrability of the mother ship model were also investigated.

As the results of the series test, it is made clear that the course stability of these ships is so unstable one that has never been seen before, although the turning ability is still better.

In order to examine the causes of unstableness in course stability, stream lines near the stern were observed on some models in circulating water channel. A series test on manoeuvrability of the ship models with the modified sterns were also carried out.

#### 1. はじめに

最近の油槽船や鉱石運搬船等の専用船はますます大型化、幅広化の傾向にあり、L/B が5.0前後のものまで計画され、あるいは建造されるようになってきた。しかしながら、幅広船型の操縦性能に関しては系統的な研究はほとんどなく、幅広になるにつれて操縦性能がどのような傾向で変化するのかよく分かっていない。このように大型化した油槽船が操縦性能の不備に基因して万一にも衝突、座礁等の事故を起こすようなことがあると、その被害の及ぶ範囲は極めて広大になる恐れがあるのにかんがみて、L/B の変化が操縦性

能に及ぼす影響を明らかにする目的で、3隻の自航模型船を用いて一連の系統的な操縦性試験を実施した。又、母型については、舵の大きさと形状の変化が操縦性能に及ぼす影響も調べた。更に、この船型の小舵角における操縦特性に従来の大型船でも見かけなかったような異常な不安定さが見られたので、船尾の形状を一部変更して、回流水槽において船尾の流線を観察すると共に、自航旋回試験も行い、その原因を調べた。この報告は、これら一連の系統試験の結果を取りまとめたものである。なお、この研究は(社)日本造船研究協会との共同研究(SR154)として当部が分担した研究の一部が主体になっていることを附記する。

\* 運動性能部 原稿受付：昭和50年9月5日

Table-1. Principal Dimensions

PRINCIPAL DIMENSIONS.						
	SHIP	MODEL	SHIP	MODEL	SHIP	MODEL
HULL						
MODEL NO.		138		136		137
LENGTH P.P. (L)	431.0m	4.000m	464.0m	4.000m	493.2m	4.000m
BREADTH MLD. (B)	107.7m	1.000m	92.8m	0.800m	82.2m	0.667m
DRAFT MLD. AT F.P. (d <sub>f</sub> )	31.6m	0.293m	34.0m	0.293m	36.1m	0.293m
DRAFT MLD. AT M (d <sub>m</sub> )	31.6m	0.293m	34.0m	0.293m	36.1m	0.293m
DRAFT MLD. AT A.P. (d <sub>a</sub> )	31.6m	0.293m	34.0m	0.293m	36.1m	0.293m
Δ		961.3 Kg		768.9 Kg		640.7 Kg
C <sub>B</sub>		0.820		0.820		0.820
L/B		4.00		5.00		6.00
B/d <sub>m</sub>		3.41		2.73		2.28
L/d <sub>m</sub>		13.65		13.65		13.65
∠c <sub>b</sub> IN % OF L		-3.055		-3.10		-3.06
PROPELLER						
DIAMETER			11.20m	0.09655m		
PITCH			6.80m	0.05862m		
PITCH RATIO				0.607		
EXPANDED AREA RATIO				0.720		
BOSS RATIO				0.230		
MAX. BLADE THICK. RATIO				0.050		
ANGLE OF RAKE				10°-0'		
NUMBER OF BLADES				5		
DIRECTION OF TURN.			RIGHT	HANDED		

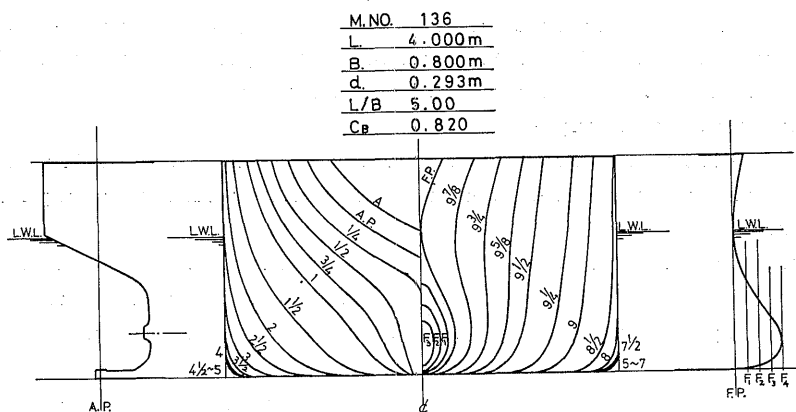


Fig. 1 Body Plan and Contour of Bow and Stern (Mother Type)

## 2. 模型船等と試験状態

今回使用した模型船の主要寸法ならびに推進器の要目を実船の値と対比して Table 1 に示す。実船はいずれも巨大油槽船を想定したもので、L/B が5.0のものを母型として、載貨重量、L/d、C<sub>B</sub> は一定値におさえ L/B のみを6.0と4.0に変化させたものである。従って、実船では垂線間の長さはかなり異なっているけれども、模型船では垂線間の長さを3隻共に4.0mとした。それぞれの正面線図と船首尾形状を Fig. 1~3

に示す。

推進器は母型用のものを他の2隻にも使用した。その形状を Fig. 4 に示す。

舵は3隻共に舵面積比が1/50のものを用いた外に、母型では舵面積比が1/60でA型とB型の2種についても試験を行った。A型は舵の高さは1/50のものと同じとして長さを変えて1/60になるようにしたもので、B型は長さは1/50のものと同じにして高さを変えて1/60になるようにしたものである。但し、舵面積比の1/50 1/60と称するのは実船では舵の可動部の面積比の意味

M.NO.	137
L	4.000m
B	0.667m
d	0.293m
L/B	6.00
C <sub>B</sub>	0.820

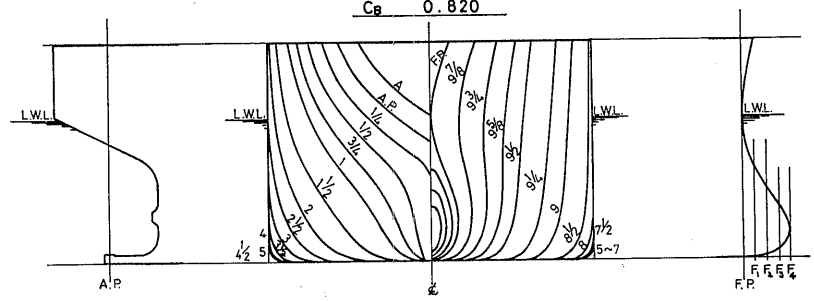


Fig. 2 Body Plan and Contour of Bow and Stern

M.NO.	138
L	4.000m
B	1.000m
d	0.293m
L/B	4.00
C <sub>B</sub>	0.820

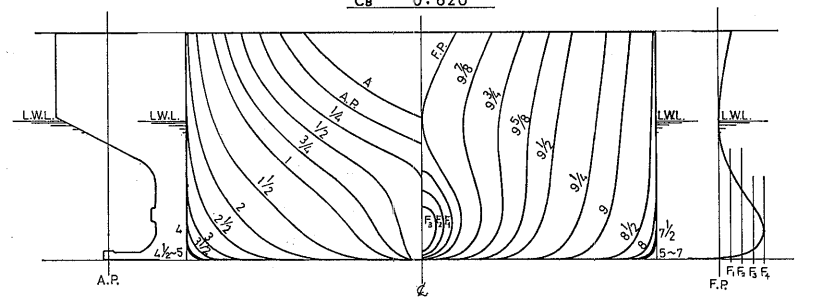


Fig. 3 Body Plan and Contour of Bow and Stern

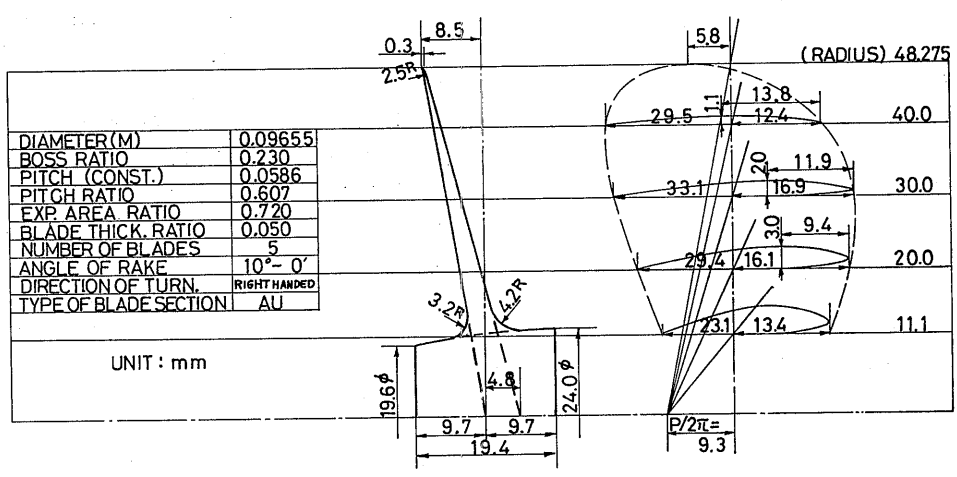


Fig. 4 Model Propeller (For Mother Type)

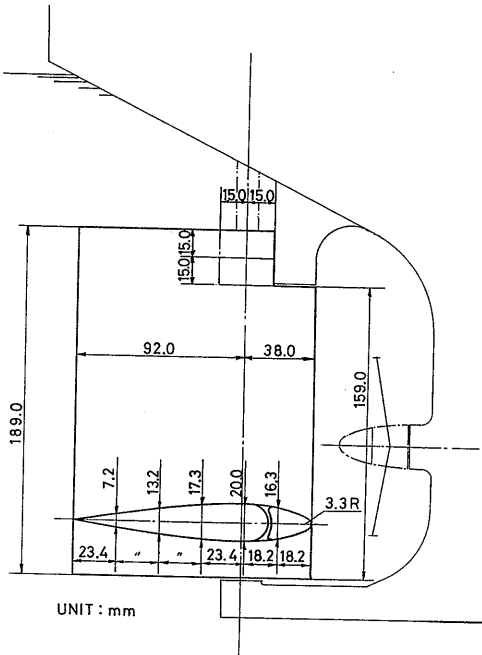


Fig. 5 Model Rudder ( $A_R/L_d=1/50$ )

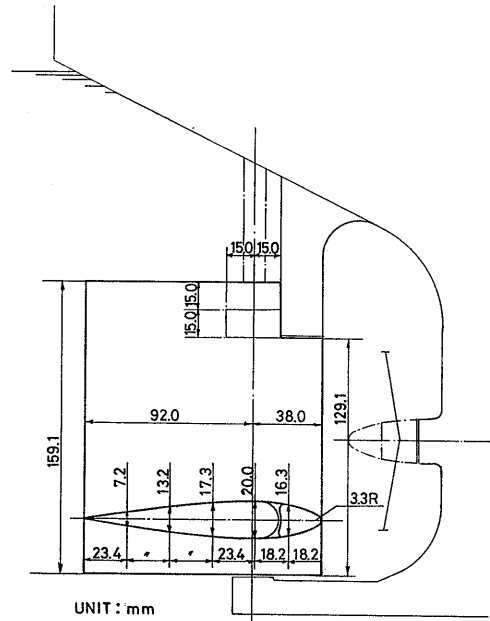


Fig. 7 Model Rudder ( $A_R/L_d=1/60$  B Type)

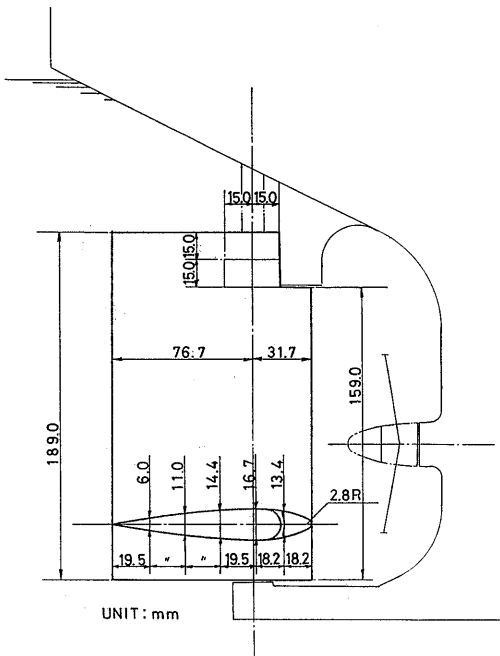


Fig. 6 Model Rudder ( $A_R/L_d=1/60$  A Type)

であるが、模型船では工作や実験の都合で外形寸法は実船の1/50、又は1/60の舵を縮尺した寸法とし、ホーン下端の後方に突出した部分は舵の可動部に含ませた型としたものである。又、1/60B型ではホーンと舵可動部との関係が他の舵の場合と同じになるように、ホーンの下端を若干下方に延長した。

これらの舵の外形と断面を Fig.5~7 に示す。なお、ここに示した船型、推進器および舵は本研究のために S R 154 において設計されたものであることを附記する。

試験状態はいずれの場合も満載状態とし、その重心まわりの回転半径は0.25Lになるよう調整した。

試験速度は実船で 15kt に相当する速度を基準とした。

自航試験はすべて屋外の水槽で行ったので、風の影響の混入をさけるように十分注意した。例えば、旋回試験は研究室屋上の風速計で 2 m/sec 以下の時にのみ、又、逆スパイラル試験は、ほとんど無風で水面にさざなみも立たないような静かな時にのみ試験をした。

試験の種類は直進速度試験、速度影響試験、旋回試験、逆スパイラル試験の4種類とした。

直進速度試験によりモーターに供給する電圧と船速との関係を求め、これにより後の各試験において予定の速度を得るためにモーターに供給する電圧を定めた。

速度影響試験では、舵角は右舷 25° 一定として、速度は実船の全速と港内半速に相当する速度とその間に適当に選んだ数点の速度で旋回試験を行い、操縦性能に及ぼす速度の影響を調べた。

旋回試験では舵角 $\pm 40^\circ \sim \pm 10^\circ$ の間は 5.0° おきに、 $+10^\circ \sim -10^\circ$ の間は舵角の間隔を適宜小さくして、角水槽で旋回が可能な限り小さな舵角まで試験をした。

逆スパイラル試験はいわゆる発振法により、旋回試

験ができなかった範囲とこれに続く一部旋回試験を行った範囲について、設定角速度は 0.25°/sec おきに、舵角半振幅（以下図中には H. A M P. (Half Amplitude) と略記する）は 5.0° として試験をした。又、L/B が 4.0 の船では一部舵角半振幅を 3.0° と 10.0° とした試験を加えた。

試験の要領は例えばモーターの発停、操舵、記録器の操作等はすべて無線による遠隔操作により行い、モーターへの電力の供給は蓄電池より可変定電圧装置を介して行い、直進航行時は逆スパイラル試験装置により直進制御をかけ、模型船の重心の航行軌跡は超音波による自動船位測定装置による等当部常用の方法をそ

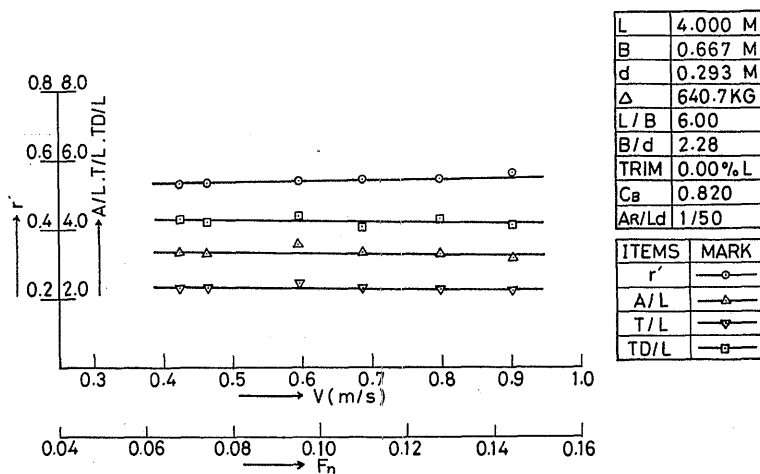


Fig. 8 Effect of Approach Speed

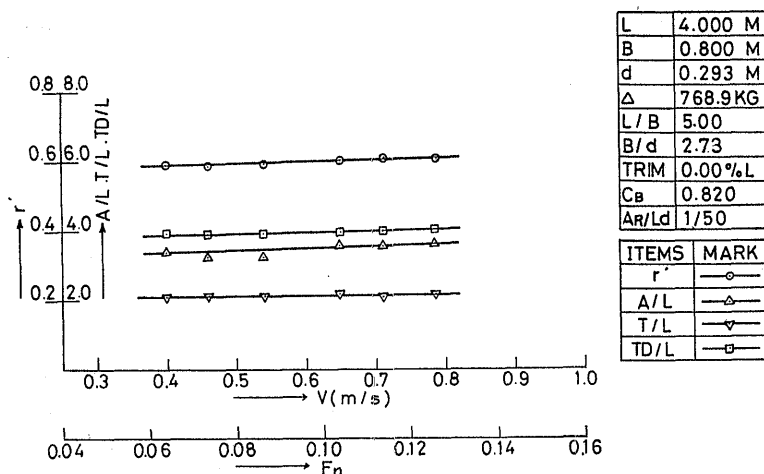


Fig. 9 Effect of Approach Speed

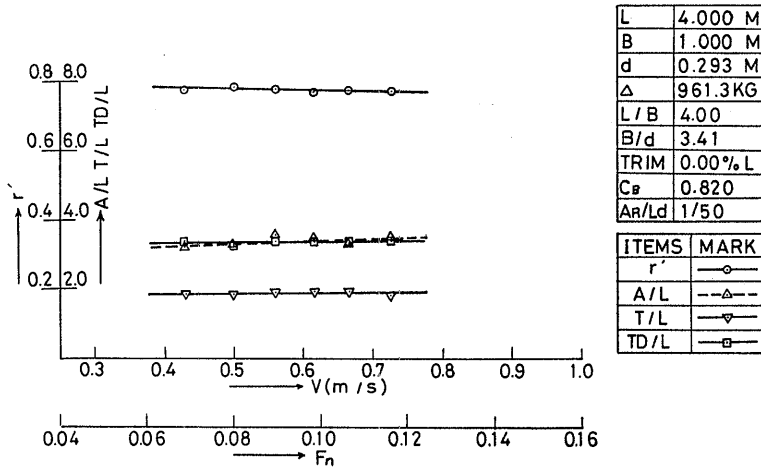


Fig. 10 Effect of Approach Speed

のまま用いた。

### 3. 試験結果と考察

#### 3.1 操縦性能に及ぼす速度影響について

3隻の模型船につき舵面積比が1/50の舵を用いて速度影響試験を行った結果を Fig. 8~10に示す。

これらの図より分かるように、各船共に高速と低速とでの旋回半径、縦距、横距、旋回圏のそれぞれの差異は数%を出ないので、速度影響はないとして取扱っても大きな誤差はない。ただ変化の傾向は船により多少異なり、L/B が6.0の船では旋回半径、縦距、横距、旋回圏は速度が増すに従い、いずれも小さくなる。L/B が5.0の船では速度が増すに従い旋回半径は小さくなるが横距はほとんど変わらず、縦距、旋回圏は大きくなる。更にL/Bが4.0の船では速度が増すに従い旋回半径、縦距、横距、旋回圏共に大きくなる。すなわちL/Bが4.0のときのみが従来の巨大船の速度影響の傾向と同じで、L/Bが大きくなるに従って逆の傾向に変っている点为本船型の特徴と言える。

#### 3.2 操縦性能に及ぼすL/Bの影響について

##### a) 旋回性について

L/B が6.0, 5.0, 4.0の3隻の模型船で、舵面積比が1/50の舵を用い旋回試験と逆スパイラル試験を行って求めた  $r'-\delta$  曲線を Fig.11~13に、これらを比較に便利のように実験点を除いて曲線だけを重ねたものを Fig.14に示す。

これらの図より分かるように本船型の旋回性は極め

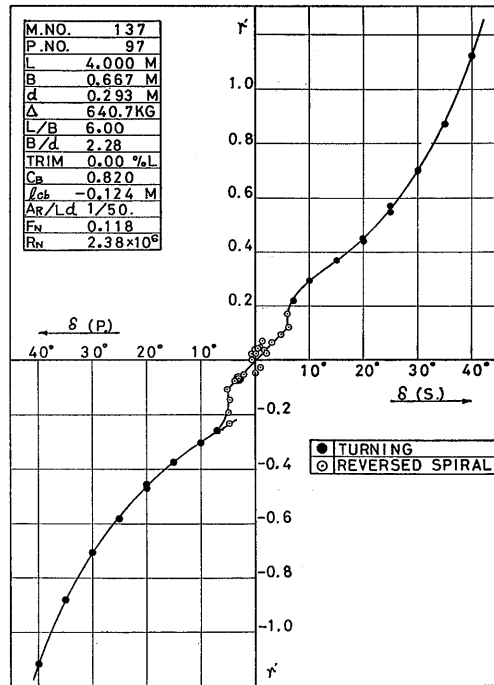


Fig. 11  $r'-\delta$  Curve

て良好で、L/B が小さく幅広になる程、旋回性はよくなっている。例えば  $\delta$  が35°に対する  $r'$  の値はL/Bが6.0の船では左右舷共に約0.88、L/B が5.0の船では右舷で約1.02、左舷で約1.12、L/B が4.0の船では右舷で約1.18、左舷で約1.42で、L/Bが6.0の船の  $r'$

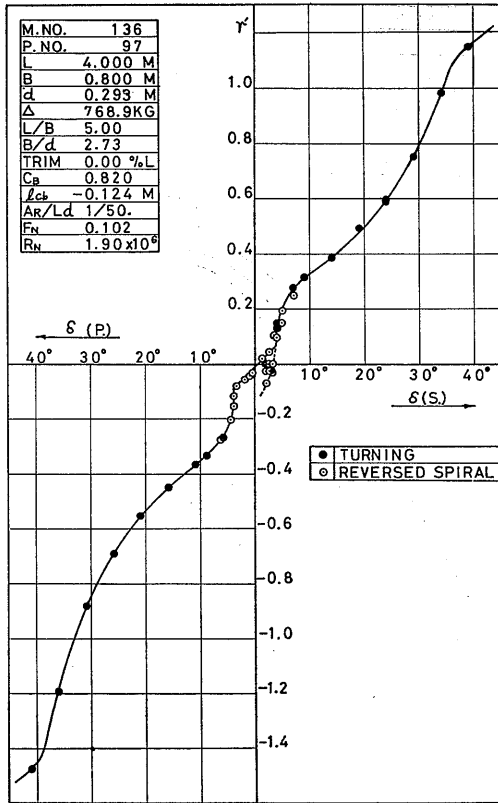


Fig. 12  $r' - \delta$  Curve

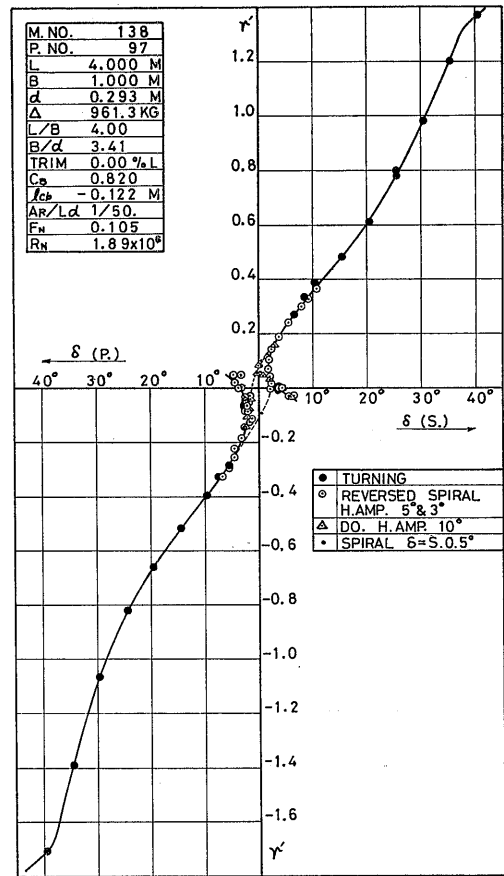


Fig. 13  $r' - \delta$  Curve

に対する  $L/B$  が 5.0, 4.0 の船の  $r'$  の比率はそれぞれ右舷で 1.16 倍, 1.34 倍, 左舷で 1.27 倍, 1.61 倍と  $L/B$  が小さくなるに従い急増している。更に比較のために Fig. 14 の中に先に当部で試験をした 15 万 屯級タンカーの T 丸 ( $L/B=6.11$ ,  $B/d=2.97$ ,  $C_B=0.805$ ,  $A_R/L \times d=1/55$ ) の  $r' - \delta$  曲線を点線で示しておいた。この船の旋回性はかなり良い方の部類に属するが、これと比較して更に良いことから、今回の船型の旋回性の良さが分かる。なお  $L/B$  が 5.0, 4.0 の船の  $r' - \delta$  曲線の  $\pm 40^\circ$  附近で曲線の傾向が変わっているのは舵の失速によるものと考えられる。

但し 3 隻共に旋回中若干の不安定さを含んでいる。

例えば旋回を始めても、その時の条件により安定な旋回状態になる迄かなりの時間を要することがあり、その最も極端な例として Fig. 15 に示すように 2 周してもなお旋回半径が減少した例もある。又、無風で鏡のような水面で旋回試験をしているのに旋回中突然に旋

回角速度が変わり、若干の後に又もとの角速度にもどった例もある。

b) 針路安定性について

Fig. 11~13 の曲線よりこの船型では 3 隻共にいわゆる異常現象があることが分かる。この異常現象は  $L/B$  が大きい程、大きい舵角で起きている。 $L/B$  が 6.0, 5.0 の船では異常現象を起こしている範囲の  $r' - \delta$  曲線の傾斜はほぼ等しい。しかし  $r'$  が 0.1 ~ -0.1 の範囲で前者は舵角  $0^\circ$  付近で、後者は右舷の異常現象を起こした舵角付近で実験点が異常にばらつき、その時の履歴等の条件次第で同じ舵角でも異なる航走状態になることを示している。従来の針路不安定な巨大船の中には若干実験点のばらつくものもあったが、これ程にばらつくものはみけなかった。 $L/B$  が 4.0 の船の場合には更にひどく、舵角半振幅を  $5.0^\circ$  以下にして逆スパイラル試験を行った結果の  $r' - \delta$  曲線は双曲線状

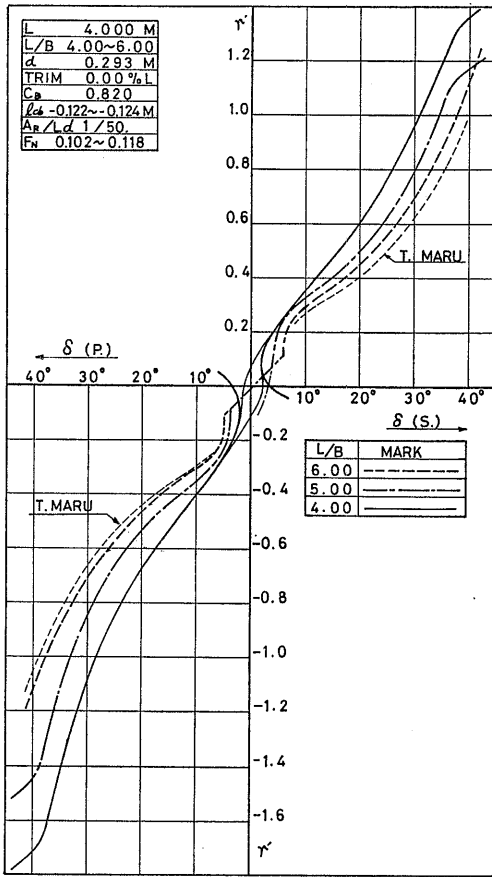


Fig. 14 Comparison of  $r'-\delta$  Curves

になり、舵角  $0^\circ$  付近では左右の曲線がつかないという従来の船では全く見られなかったような形状を示した。又、 $r'$  の小さい範囲での実験点のばらつきも従来の船より大きかった。舵角半振幅を  $10^\circ$  まで広げて逆スパイラル試験を行った結果、Fig.13の中で△で示すような点が得られ、先の曲線にのるものと、その中間にくるものが出て細線で仮にむすんだような性能もあることが分かった。要するにこの船も先の2隻と同様にその時の条件次第で同じ舵角でも異なる航走状態をとりうることを示し、その不安定な範囲は先の2隻よりも広い。

又、舵角を  $0^\circ$  に固定して直進させると、その一例をFig.16に示すように、3隻共にほとんどの場合始めは直進するけれど突然右又は左に曲ってゆき、ある角速度に達するとそのままその角速度を保持しつづける

M.NO.137	
L	4.000M
B	0.667M
d	0.293M
L/B	6.00
C <sub>B</sub>	0.820
δ	S. 25°

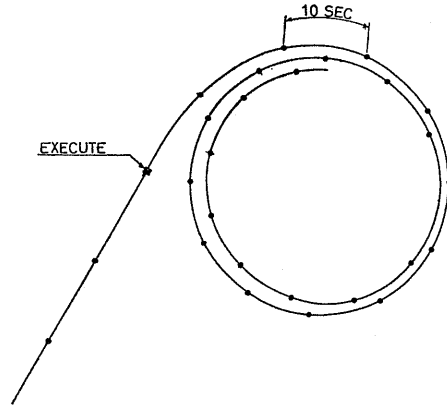


Fig. 15 A Sample of Unstable Turning

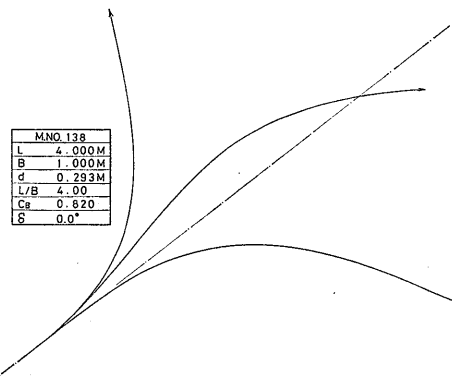


Fig. 16 Loci with Rudder Angle  $0.0^\circ$

をした。

以上をまとめると、この船型では舵角と偏角が小さな範囲では、船体周囲の流れに不安定な所があり、そのためにその時の条件次第で同じ舵角でも異なる航走のしかたをするし、且つ、一つの航走状態から別な状態に容易に移り変る等異常な不安定さがあり、幅広になる程その程度がひどくなる。

なお、この異常な不安定さは特にL/Bが4.0の船の $r'-\delta$ 曲線の様子からおして、いわゆる安定化現象である異常現象の中に包含される若干の不安定さとは別



な原因によるものであろうと判断されたので、3.4以下に示すようにその原因を追及することとした。

c)  $A/L$ ,  $T/L$ ,  $TD/L$ ,  $V_t/V_a$  について

3隻の船の旋回試験にて得られた縦距, 横距, 旋回圏と船長との比,  $A/L$ ,  $T/L$ ,  $TD/L$ , および旋回中の速度と直進速度との比  $V_t/V_a$  を  $r'$  をベースにしたものを Fig.17~19に示す。同じ  $r'$  に対する縦距のみが幅広になる程, 若干大きくなる外は3隻共ほとんど近似している。ただ旋回中の速度低下は従来の船に比較して大きい。

3.3 操縦性能に及ぼす舵面積比と舵形状の影響について

母型で先に示したような舵面積比が1/60のA型とB型の舵を用いて旋回試験と逆スパイラル試験を行った結果のうち  $r'-\delta$  曲線を Fig.20, 21に, これらの曲線に舵面積比が1/50の時の  $r'-\delta$  曲線を加えて, 比較に便利のように実験点を除き曲線のみを重ねたものを Fig.22に示す。又  $A/L$  etc.  $-r'$  曲線を Fig.23, 24に示す。

a) 旋回性について

Fig.22より分かるように1/50と1/60A型とでは右舷旋回では  $r'$  はほとんど変りなく, 左舷旋回では例えば舵角35°で約5%程ではあるが後者の  $r'$  の方が全般

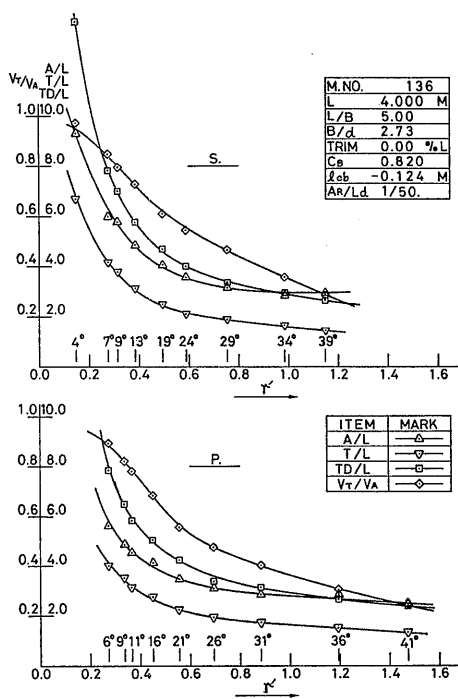


Fig. 18  $A/L$  etc.  $-r'$  Curves

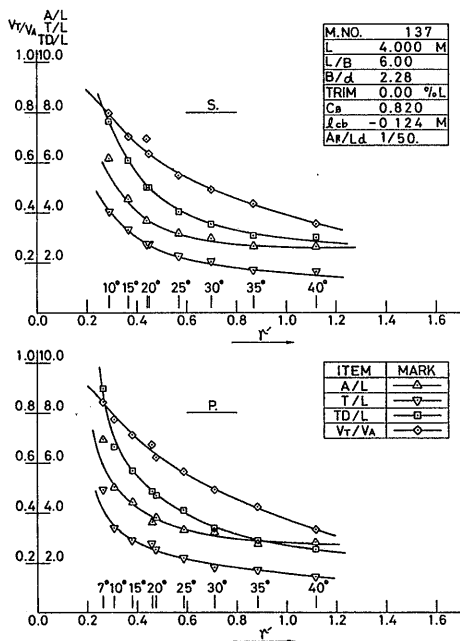


Fig. 17  $A/L$  etc.  $-r'$  Curves

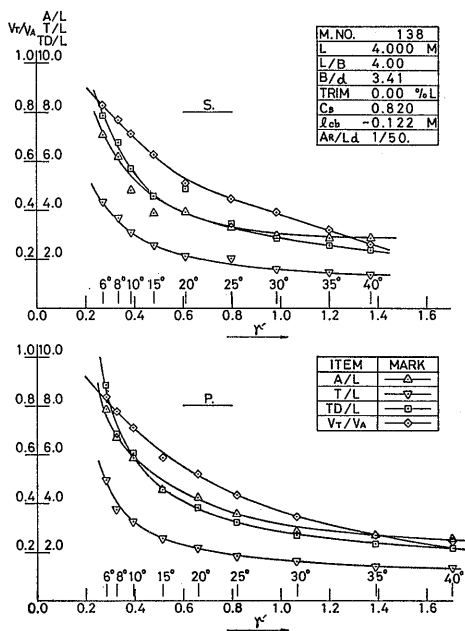


Fig. 19  $A/L$  etc.  $-r'$  Curves

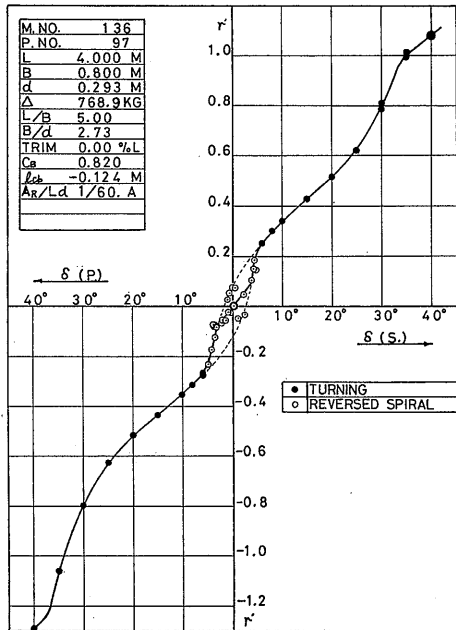


Fig. 20  $r' - \delta$  Curve

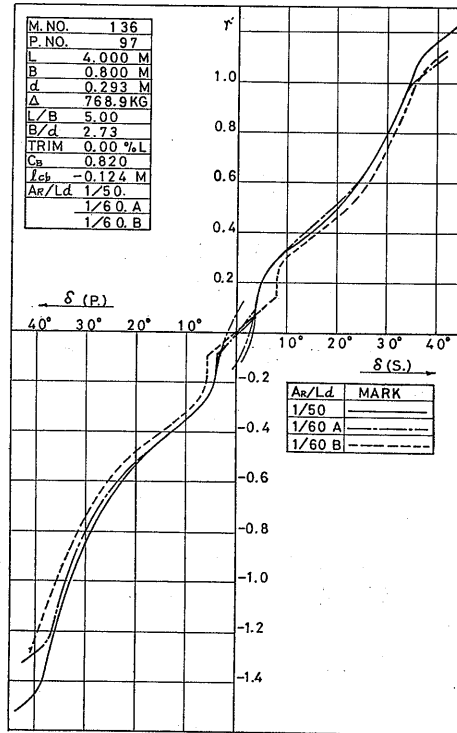


Fig. 22 Comparison of  $r' - \delta$  Curves

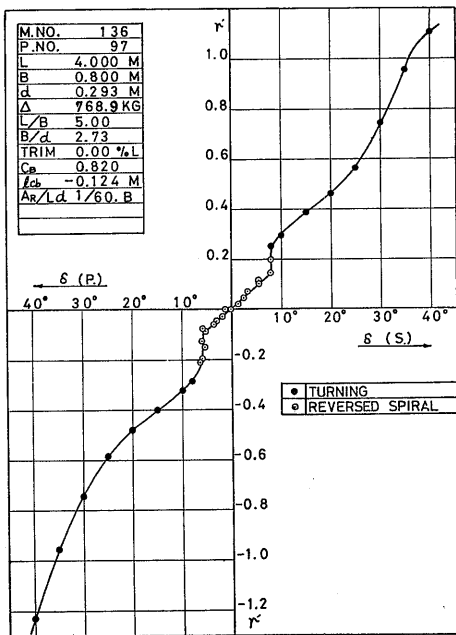


Fig. 21  $r' - \delta$  Curve

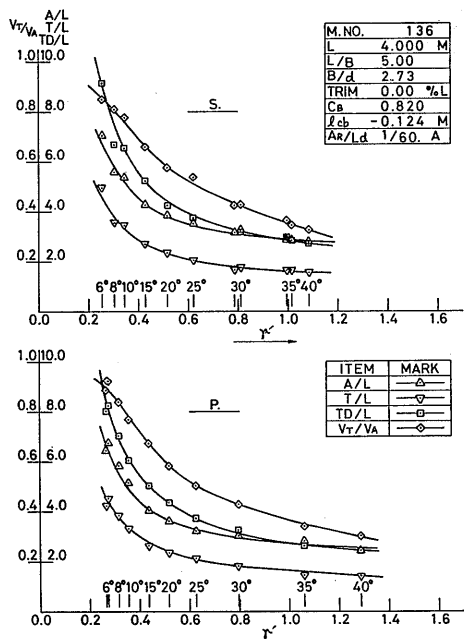


Fig. 23  $A/L$  etc.  $-r'$  Curves

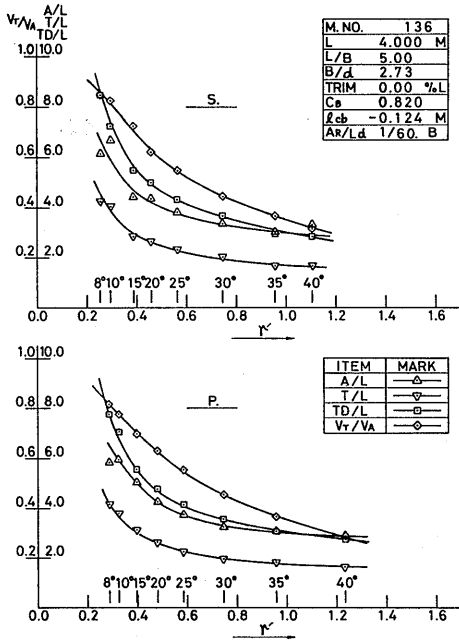


Fig. 24 A/L etc. -  $r'$  Curves

にわずかながら小さい。1/50と1/60B型では左右舷旋回共に後者の  $r'$  の方が小さく例えば舵角  $35^\circ$  では右舷では約7%, 左舷では約14%程小さい。すなわち旋回性は1/50と1/60A型では後者がわずかに劣るも大差なく、1/50と1/60B型では後者がやや劣り、同じ1/60でも縦横比の小さいB型の方がA型に比べやや劣ると言うことになる。

このように1/50と1/60Aとで余り差のないのは後者は舵の長さの短縮した分だけプロペラの後流の利用度は小さくなっているがプロペラの直径が舵の高さに比較して小さいので舵全体に作用する力からみるとこのことは大きい差ではなく、一方舵面積が約17%小さくなっても縦横比が大きくなった分だけ舵性能が向上し(舵単独の場合の  $C_N$  は同じ舵角で後者の方が約15%大きい……附録参照) 結局直圧力はわずかに小さい程度でおさまり、このような結果になったものと考え

一方1/50と1/60B型では舵の長さは等しいからプロペラの後流の利用度は等しいけれども、後者は舵面積の減少に縦横比の減少に伴う舵性能の低下(舵単独の場合の  $C_N$  は後者の方が約6%程小さい……附録参照)が加わり結局前述のような差が出たものと考え

る。

なお  $40^\circ$  付近であられる曲線の傾向の変化は、A型では左右舷、B型では右舷にのみ出ているが、いずれの場合も1/50の場合より小さい  $r'$  で出ている。

b) 針路安定性について

A型、B型共にいわゆる異常現象を起こしている。

1/60A型は1/50とほぼ等しい舵角で起こしており、異常現象を起こしている範囲の  $r'-\delta$  曲線の傾斜もほぼ等しい。又、異常な実験点のばらつきは1/50では右舷のみであったが1/60A型では左右舷共にあり、この点は1/60A型の方が1/50より劣っていることになる。1/60B型では1/50に比較して大きい舵角で異常現象を起こしており、異常現象を起こしている範囲の  $r'-\delta$  曲線の傾斜も若干ゆるく、異常な実験点のばらつきもほとんど無く、針路安定性では1/60B型の方がまさっている。

以上を総合すると針路安定性は1/60B型が最もよいことになるが、いずれも異常現象を起こしており、異常現象の発生の機構が今の所明確でないことと、模型船で異常現象を起こしていても実船では必ずしも起こすとは限らないので、実船の優劣については別に検討を要する。

c) A/L, T/L, TD/L,  $V_i/V_a$  について

1/60A型とB型では後者の A/L が左舷でやや前者より大きい外はいずれもほとんど差異はない。

3.4 異常な不安定さに対する検討

a) 回流水槽における船尾流線の観察

本船型では前述のように小舵角における操縦特性に従来の大型船でも見られなかったような異常な不安定さが見られたが、その原因としてまず考えられた事は船尾附近に従来の船には見られなかったような異常な流れがあるのではないかと言う事であった。この点を確認するために母型と同じ船型で船長が1.5mの模型船を準備し、この船の船尾の各ステーションライン上で喫水線下に約20mmおきに細い釘をうち、釘の付け根と船体表面より約5mmの釘の先端とにそれぞれ白と黒の絹の縫糸のよりをといて原糸のようにしたものを取り付け、糸の長さを約20mmに切りそろえ、糸の動き方と方向で流れの様子が分かるようにした。この船を回流水槽に前後、左右方向の運動と重心を通る縦軸まわりの回転を拘束して浮べ、実船の15ktの速度に相当する流水中で、プロペラをつけない場合とプロペラを実船の15ktの時の回転数に対応する回転数でまわした場合について、偏角は  $0^\circ, 1^\circ, 2^\circ$ 、舵角は

0°~(10°)~30°の各組合せで、船尾附近の流れの様子を観察し、必要に応じ写真を撮った。この結果の一例を略図で Fig.25に示す。すなわち、推進器孔上部前方の絹糸は時にだらりとたれたままになっていたり、あるいは上下に不規則に動きまわり、この附近の流れは相当に乱れていて時に停滞したり流れたりして、その乱れの様子も小偏角、小舵角の範囲では偏角や舵角に関係なく変化していることが分かった。従って、この附近の流れの状態を改善する方策を施せば前述のような異常な不安定さを改善することができるであろうと判断された。

b) 操縦性能に及ぼす推進器孔の大きさの影響について

このように船尾の流れが乱れる原因として、本船型

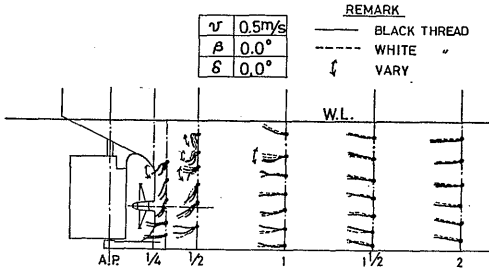


Fig. 25 Sketch of the Stream Line Shown by the Silk Threads

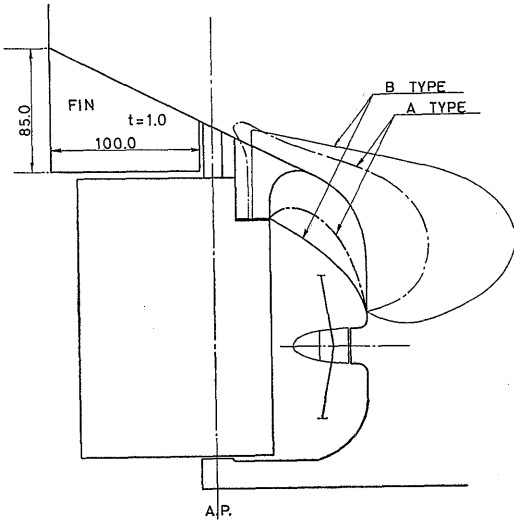


Fig. 26 Modified Screw Apertures and A Fin

では従来の大型船に比較して相当に大きな推進器孔を備えているために、その上部前方の水線のおさめ方に若干の無理があるのではないかと考えられた。そこで母型についてA、Bの2つの型に推進器孔の上部をふさぎ、それに伴いこの附近の水線が無理なくおさまるように若干の肉盛りをして順整にし、旋回試験と逆スパイラル試験を行った。

推進器孔上部をふさいだ様子と後述の鰭の形状とを Fig.26に示す。図中実線はB型、鎖線はA型で、太線は推進器孔をふさいだ縁の線を、細線は推進器孔をふさいだ時にこの附近の各断面が順整な曲線になるように若干肉盛りした縁の線を示す。この場合、排水量の変化は僅少なので、これに伴う修正は省略した。(以下図面中には変形した推進器孔を M.S.A. (Modified Screw Aperture) と略記する)

試験結果で得られた  $r'-\delta$  曲線を Fig. 27, 28に、又、比較に便利なようにこの2つの  $r'-\delta$  曲線に母型の  $r'-\delta$  曲線を重ねたものを図-29に示す。このときの  $A/L$  etc.  $-r'$  曲線を Fig.30, 31に示す。

これらの図より分かるように旋回性は原型、A型、B型でほとんど変わりなく、しいて言えばB型が心もち

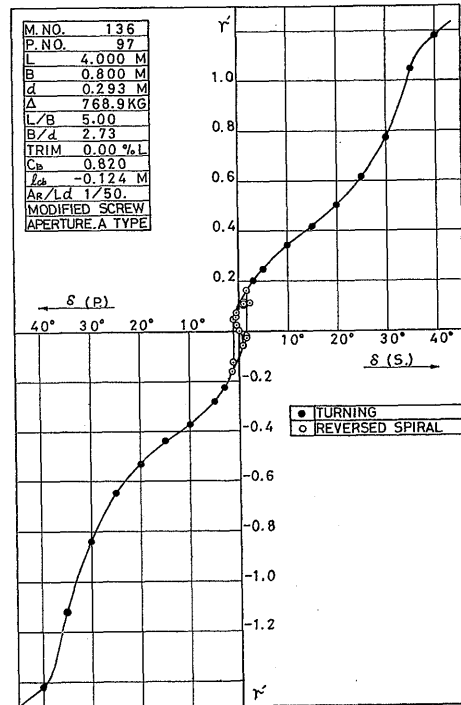


Fig. 27  $r'-\delta$  Curve

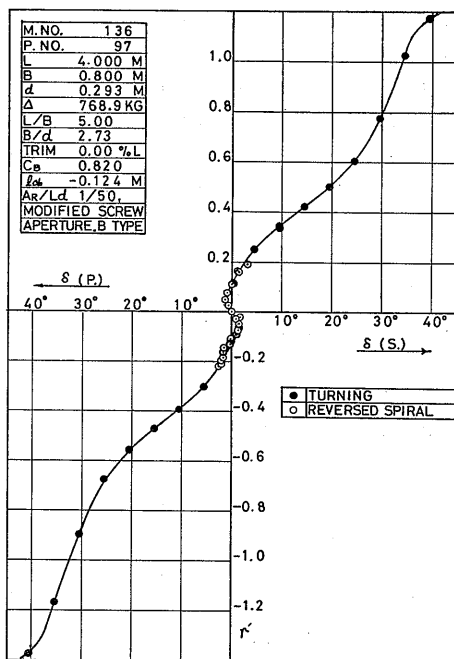


Fig. 28  $r' - \delta$  Curve

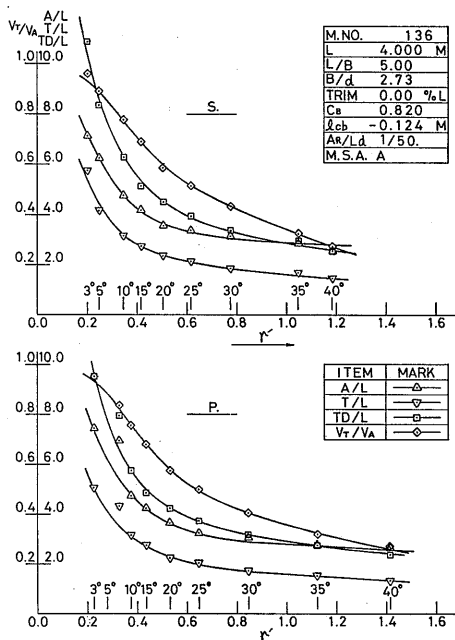


Fig. 30  $A/L$  etc. -  $r'$  Curves

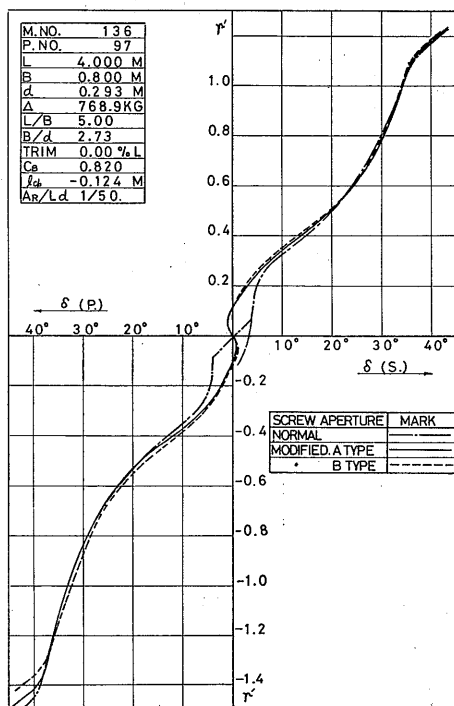


Fig. 29 Comparison of  $r' - \delta$  Curves

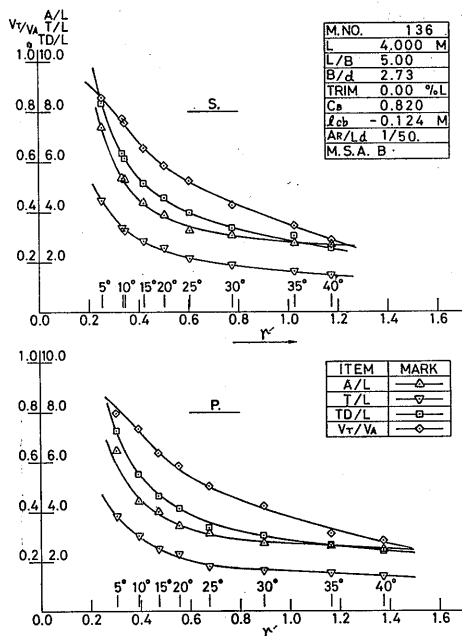


Fig. 31  $A/L$  etc. -  $r'$  Curves

良いと言える程度である。針路安定性については、異常な不安定さを示す点のばらつきも、A型でわずかに残っているけれども、B型ではほとんどなくなり、又、共に異常現象もなくなったために両者の  $r'-\delta$  曲線は従来より見受けられるS字型となり、且つ、ほとんど重なっている。

又、このときの A/L 等も A/L でわずかに差異がみられる外はいずれも原型にほとんど近似している。

更に L/B が 4.0 の船について、母型の B 型に準じて推進器孔をふさぎ、且つその附近の水線が無理なくおさまるように若干の肉盛りをして、旋回試験と逆スパイラル試験を行って得た  $r'-\delta$  曲線を Fig.32に、比較に便利なように原型の  $r'-\delta$  曲線と重ねたものを Fig.33に、又、A/L etc.— $r'$  曲線を Fig.34 に示す。

これらの図より分かるように旋回性は原型とほとんど変わりなく、針路安定性については  $r'-\delta$  曲線が  $5^\circ \sim 10^\circ$  の間で 2本に分かれるように見える所もあるが、異常な不安定さを示す実験点のばらつきはなくなり、且つ異常現象もなくなり、原型の双曲線型の  $r'-\delta$

曲線の丁度中間を通る S 字型となっている。ただ S 字形の幅も約  $13^\circ$ 、 $\delta$  が  $0^\circ$  における  $r'$  も  $\pm 0.2$  と不安定領域はかなり大きく、針路安定性は余り芳しくない。A/L 等は左舷の A/L に多少の差異がある以外は原型とほとんど近似している。

c) 操縦性能に及ぼす鰭の影響について

推進器孔の一部をふさいだ A 型、B 型共に  $r'-\delta$  曲線は異常な不安定さもなくなり普通にみうけられる S 字形になったが、S 字の幅も  $\delta$  が  $0^\circ$  における  $r'$  の大きさも大きく、針路安定性は芳しくないのを、これを少しでも改善する方法を見出すための試みとして、舵軸の後方の船底下で船体中心線上に旋回抵抗を増すための鰭をつけて旋回試験と逆スパイラル試験を行って求めた  $r'-\delta$  曲線を Fig.35, 36 に示す。又、比較に便利なように A 型、B 型のそれぞれに鰭をつけたときと原型の  $r'-\delta$  曲線を重ねたものを Fig.37 に示す。これらの図より原型と A 型、B 型の鰭付とを比較すると旋回性は前者の方が小舵角でやや劣り、中舵角でほとんど変わりなく、大舵角ではやや勝っている。針路安定性

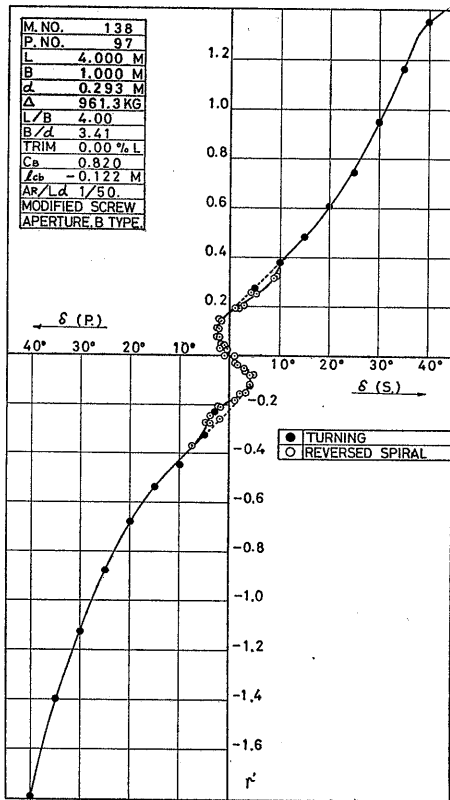


Fig. 32  $r'-\delta$  Curve

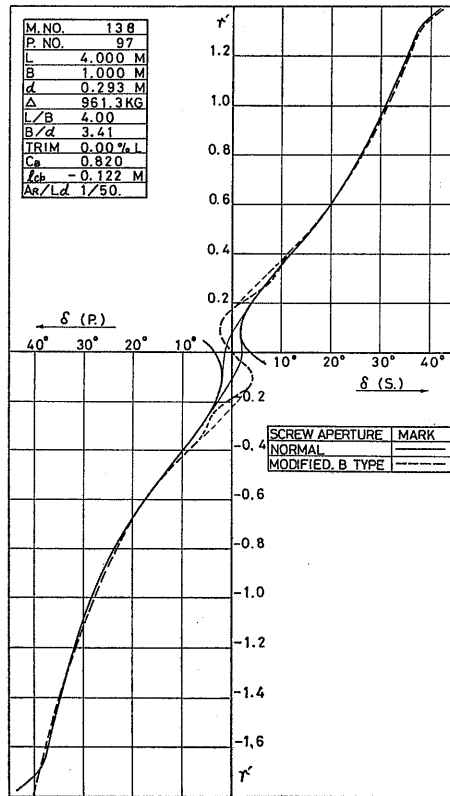


Fig. 33 Comparison of  $r'-\delta$  Curves

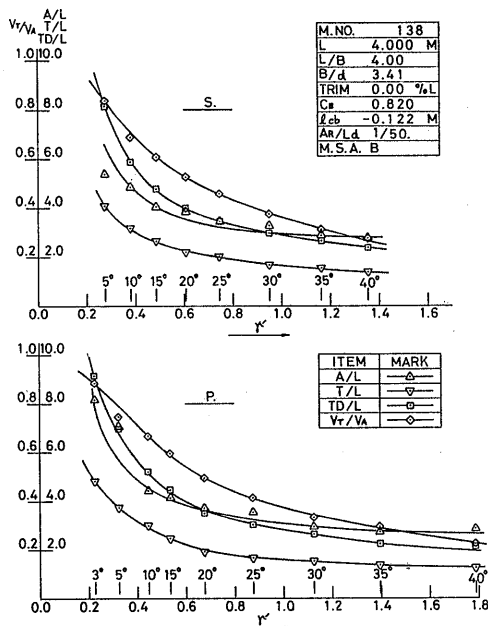


Fig. 34 A/L etc. -  $r'$  Curves

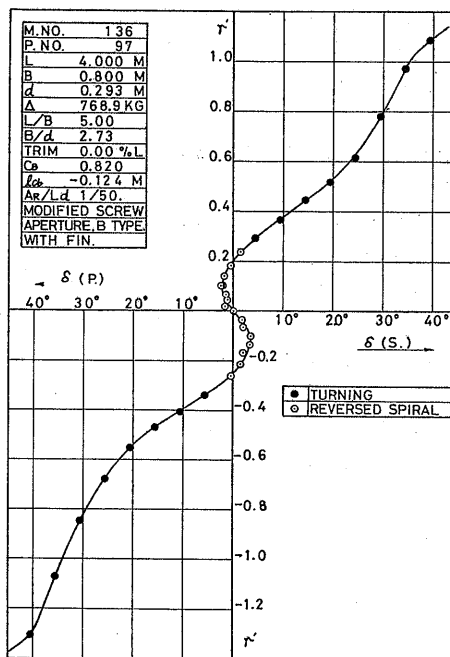


Fig. 36  $r'$  -  $\delta$  Curve

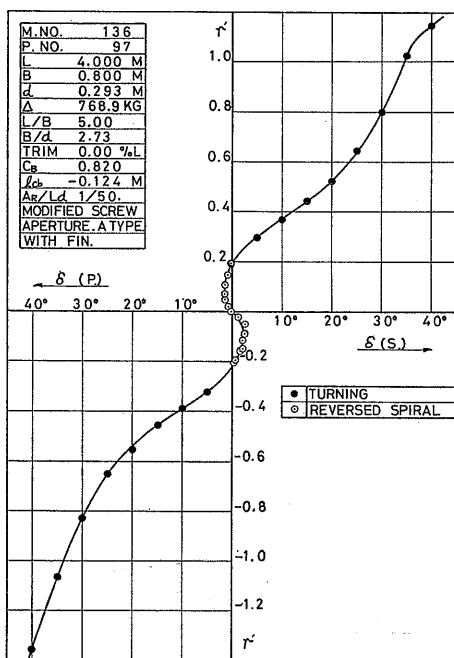


Fig. 35  $r'$  -  $\delta$  Curve

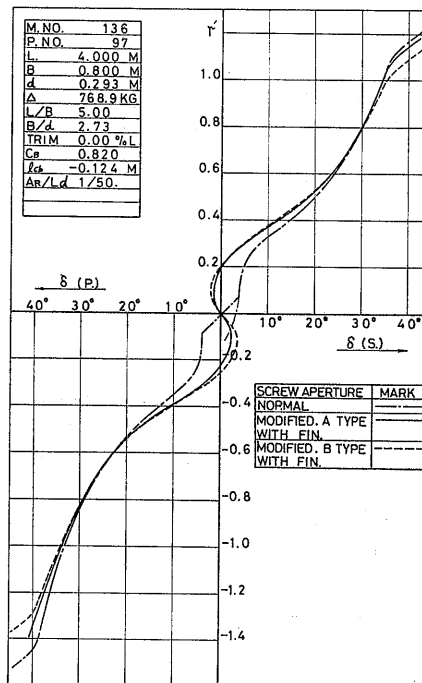


Fig. 37 Comparison of  $r'$  -  $\delta$  Curves

では後者はいわゆる異常現象も異常な不安定さを示す点のばらつきもなく普通のS字形になっているがS字型の幅も $\delta$ が $0^\circ$ における $r'$ も大きく、原型より劣っている。又A型、B型の鰭付を比較するとA型の方が旋回性も針路安定性も心もち勝っている。

更にA型、B型のそれぞれについて鰭のない場合と鰭付の場合及び原型の $r'-\delta$ 曲線を重ねたものをFig. 38, 39に示す。これらの図より分かるようにA型、B型共に旋回性は鰭付の方が小舵角ではやや勝っているが、大舵角では逆にやや劣っている。又、針路安定性は予期に反して鰭付の方がS字形の幅も $\delta$ が $0^\circ$ における $r'$ の大きさもほぼ倍位になっていて針路不安定さが増している。この原因は鰭をつけたことによる旋回抵抗の増加よりも、鰭が舵の上部に重なっていることによる舵性能の向上(舵単独試験における $C_N$ 曲線の傾斜は鰭付の方が約15%大きいが失速による $C_N$ の減衰は小さい舵角で起きている……附録参照)の方が勝っているためにこのようになったものと考えられる。

又、鰭をつけたときの $A/L$  etc.  $-r'$  曲線をFig. 40, 41に示す。これらより分かるように、 $A/L$ 等の性質は鰭の有無にかかわらずほとんど差異はない。

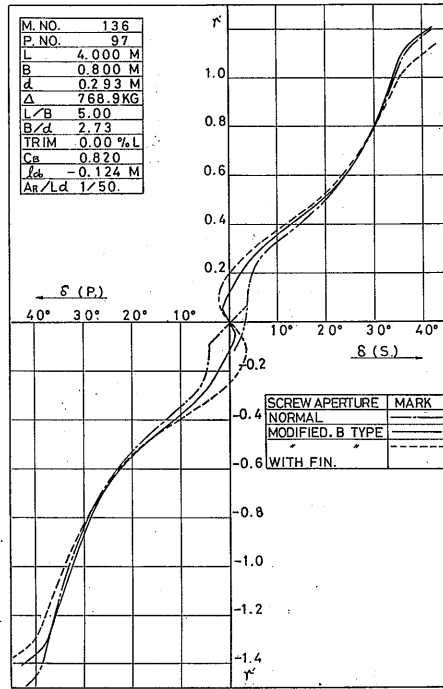


Fig. 39 Comparison of  $r'-\delta$  Curves

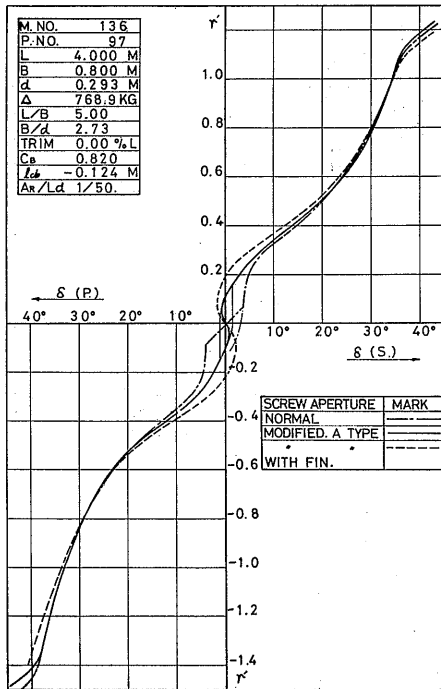


Fig. 38 Comparison of  $r'-\delta$  Curves

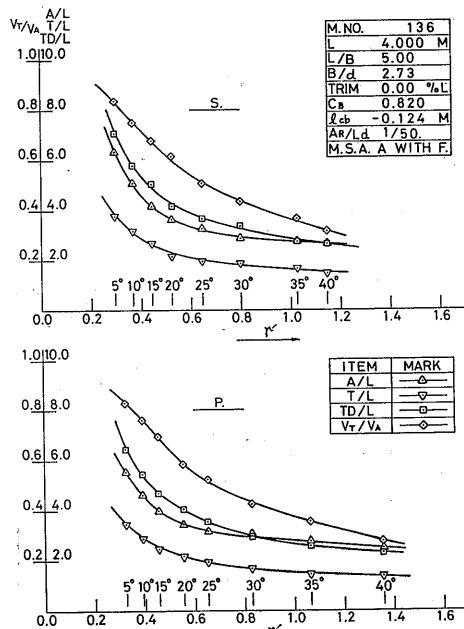


Fig. 40  $A/L$  etc.  $-r'$  Curves



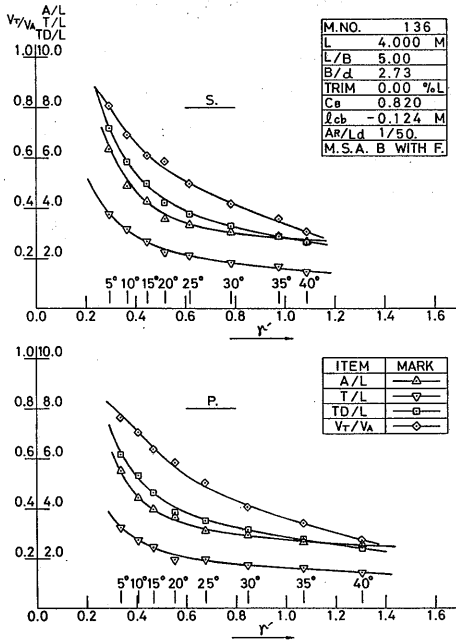


Fig. 41 A/L etc. - r' Curves

d) 再度の回流水槽における船尾流線の観察

以上の諸試験から船尾の船型を多少修正することにより異常な不安定さを示す実験点のばらつきを消滅させ、附随的にいわゆる異常現象もなくなり、普通にみられるS字形の r'-δ 曲線が得られることが分かったが、どのような現象で実験点のばらつきが生じたのかは確認できなかった。回流水槽で流線を観察する方法を種々検討、試行した結果、船体を朱又は黄色として流線を観察しようとする部位よりやや上流より細い管を通して黒インクを流すと比較的よく流れの様子を観察でき且つ写真のうつりがよいことが分かった。そこで再び船長 1.5m の母型の模型船を原型のままとB型に準じて船尾附近を修正したものを前回と同様の方法で回流水槽に浮かべ、細い銅管の先端に0.2mmφの細管を取りつけたものを準備し、流線を観察しようとする部位よりやや上流で銅管の先の細管がそこでの流線の方向にほぼ一致するように保持し、βとδの各種組合せに対して船体部位と船体よりの距離を変えながら管より黒インクを流して流線を観察した。要すれば側方と下方より8ミリシネで同時撮影し又写真を撮った。

このような方法で船尾の流線を観察した結果、原型では推進器孔の上部を大きくあけているために、その

前方の船体がやや削りこまれた形になり、ここで流れが剝離して乱れた流れがやや停滞ぎみにゆっくりと流れ、何等かの原因でその乱れた流れが推進器孔をくぐり反対舷に流れ込み、若干の後に再び元の状態にもどると言った不規則な流れ方をしている、更に剝離した流れの流れ方も、反対舷に流れ込む様子も時により違ってくるのが分かった。このように異常に乱れて変動する流れのために前述のような実験点のばらつきを生じたものと判断された。

なお、B型に準じて修正した場合は推進器孔上方前方での剝離も少くなり、且つ乱れた流れが推進器孔を通して反対舷に流れこむこともなくなったために、異常な点のばらつきも消滅し、又、剝離の減少が異常現象の消滅の誘因になったものと判断された。

又、このように考えると前述の母型の原型で1/60のB型の舵をつけた場合は、推進器孔を通りぬけて反対舷に流れ込んだ乱れた流れも舵の高さが低いので舵に影響を与えることなく流れ去るために、いわゆる異常現象はあっても異常な点のばらつきは生じなかったものと理解できる。

4. む す び

載貨重量を一定とした巨大油槽船を想定して、L/Bが5.0の船を母型とし、L/Bを6.0, 4.0とした合計3隻の模型船を用いて系統的な自航操縦性試験を行い、次の諸点を明らかにすることができた。

1. 操縦性能に及ぼす速度影響

各船共に高速と低速における同一舵角に対する旋回半径、縦距、横距、旋回圏のそれぞれの差異は数%を出ないので、速度影響は省略しても大きい誤差はない。

2. 操縦性能に及ぼすL/Bの影響

a) 旋回性は3隻共に極めて良好でL/Bが小さく幅広になる程、旋回性はよくなる。例えばδが35°に対するr'の値はL/Bが5.0, 4.0の場合にはL/Bが6.0の場合のそれぞれ右舷では1.16倍, 1.34倍, 左舷では1.27倍, 1.61倍とL/Bが小さくなるに従い急増する。

b) 針路安定性は3隻共にいわゆる異常現象がありL/Bが大きい程、大きい舵角で起きている。なお、L/Bが6.0の船ではδが0°付近で、L/Bが5.0の船では右舷の、L/Bが4.0の船では左右舷のそれぞれ異常現象を起こした舵角付近で実験点が異常にばらつき、特にL/Bが4.0の船ではr'-δ曲線は双曲

線状になり、その時の条件次第で同じ舵角でも異なる航走状態になることを示した。このような現象は従来の船では見られなかった現象である。

c) 同じ  $r'$  に対する縦距、横距、旋回圏、速度低下率は3隻共にほとんど近似している。

### 3. 操縦性能に及ぼす舵面積比と舵形状の影響

a) 旋回性は舵面積比1/50と1/60A型では後者が僅かに劣るも大差なく、1/50と1/60B型では後者の  $r'$  が左右舷平均で約10%程小さく、旋回性は劣る。従って、同じ舵面積比でも縦横比の小さいB型の方がA型より劣っている。

b) 針路安定性は1/50と1/60A型では  $r'-\delta$  曲線の形は近似しているけれども異常な実験点のばらつきは前者が右舷のみに対し後者は両舷に出ているだけ後者が劣る。1/50と1/60B型では後者の方が原点附近での  $r'-\delta$  曲線の傾斜もゆるく、且つ異常な実験点のばらつきもほとんど無いだけ勝っている。但し、異常現象を起こしているので実船での優劣はこの結果からは判断できない。

### 4. 異常な不安定さに対する検討

a) 異常な不安定さを示す実験点のばらつきの原因を調べるために回流水槽にて小型模型船の船尾附近に絹糸をつけて流線を観察した結果、推進器孔上部前方附近に異常に乱れた流れのあることが確認された。

b) 推進器孔の上部をふさぎ、且つその附近の船型が順整になるよう修正して試験をした結果、旋回性は原型とほとんど変りなく、異常現象も異常な不安定さを示す実験点のばらつきもない普通に見られるS字形の  $r'-\delta$  曲線が得られた。この場合、不安定領域の幅と  $\delta$  が  $0^\circ$  における  $r'$  の値は従来のこの種の船と比較してやや大きい。

c) 針路安定性を改善するための試みとして船尾船底下に鱗をつけてみたが、これは逆に不安定領域を広げる結果となった。

d) 再び回流水槽にて細管を通して黒インクを船体附近で流して流線を観察した結果、推進器孔上部前方で剥離して乱れた流れが何らかの原因で推進器孔上部をくぐり抜け反対舷に流れ込み、若干の後に又元にもどるような流れかたを繰り返し、その流れかたも反復の様子も時により異なることと、b) 項のように船型の一部を修正すると、このような流れは消滅することが分かり、このような流れ方が異常な不安定さの原因であることが確認された。

## 附録 舵力計測試験

幅広船の操縦性能に及ぼす舵面積比と舵形状の影響に関する試験の結果を裏付けするためには自航試験において他の諸量と同時計測した船後舵の特性を用いるのが望ましかったが諸種の事情で計測できなかった。船単独試験結果からも一応の傾向はつかめるのでやむなくこれを用いて検討することとし、自航試験に用いた舵について舵単独試験を行った。

### 1. 試験要領等

舵は自航試験で用いた1/50、1/60A型、1/60B型の3種類を用い、当部の小型回流水槽（断面は600mm×450mm）で試験をした。

回流水槽上方に水槽をまたぐように木の台を設け、その台上で回流水槽の中心線上に操舵機を設置し、これにフランジ付の軸を取りつけ、このフランジに差動トランス式の二分力計を取りつけ、この二分力計に舵を取りつけた。舵角  $0^\circ$  の時に、操舵機、二分力計および舵のそれぞれの中心線が水槽の中心線に正しく一致するように調整した。その概要を Fig. A-1 に示す。

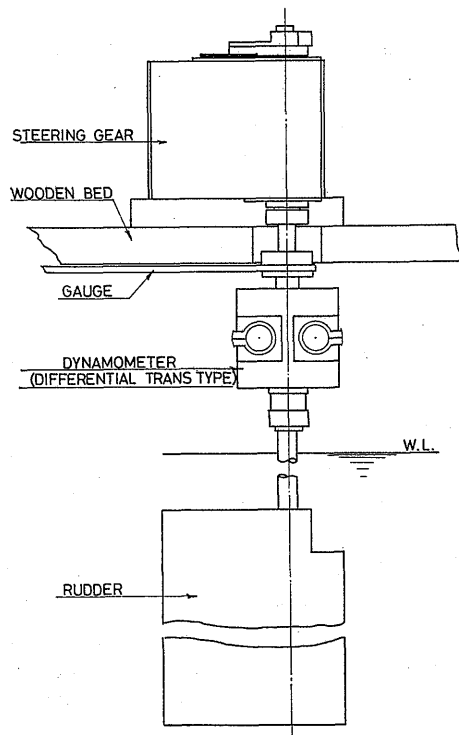


Fig. A-1 Outline of Measuring Apparatus

舵の位置は自航試験の時の舵の深さと一致するようにし且つ水流は自航試験の時の直進速度（実船で15kt相当で0.716m/sec）を基準とした。流速は舵の前方約60cmの所に高さは舵の高さの中央に相当する所にピトー管を設置して計測した。

二分力計は四隅を4本の棒ばねで連結した2枚の平板の一方を操舵機に接続し、他方に舵を取りつけ、舵に力が作用したときに生ずる枚の平板の相対変位を2個の差動トランスで検出し、舵に作用した力とモーメントを計るようにしたものである。

試験に当っては先ず0°より舵を静かに40°まで往復させて、記録上に大きな振動のあらわれた舵角と記録のふれ幅が大幅に変化した舵角をつかみ、改めて0°よりこれらの舵角の前後は1°おきに、その他の所は5°おきに舵をうごかして40°まで往復し、各舵角に対する直圧力とモーメントを計測した。

なお試験中ピトー管附近より流れにそって絹の原糸を流して舵附近の流れの様子も観察した。

2. 試験結果

舵単独の場合の試験結果を舵角をベースに  $C_N$  と  $e/l$  の曲線で表わしたものを Fig. A-2~A-4 に示す。

$$\text{但し } C_N = \frac{Y}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

$Y$ : 舵直圧力       $v$ : 流速  
 $\rho$ : 水の密度       $A$ : 舵の側面積  
 $e$ : 舵前縁より圧力中心までの距離  
 $l$ : 舵の長さ

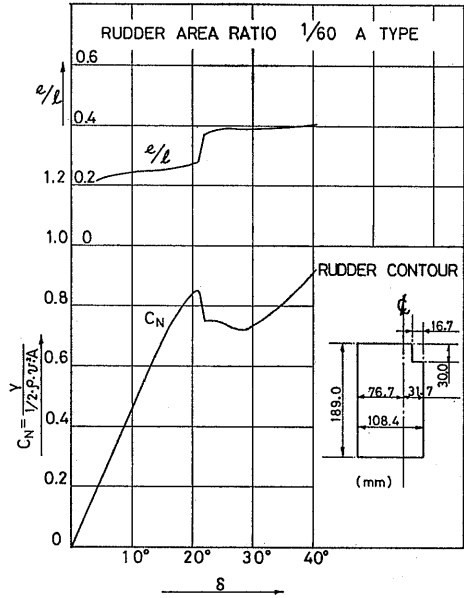


Fig. A-3  $C_N$  Curve

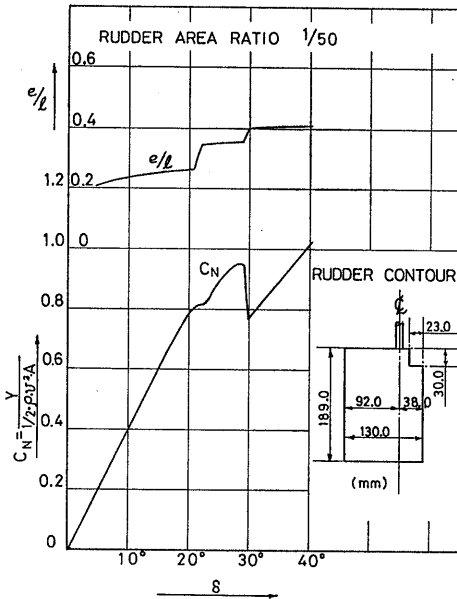


Fig. A-2  $C_N$  Curve

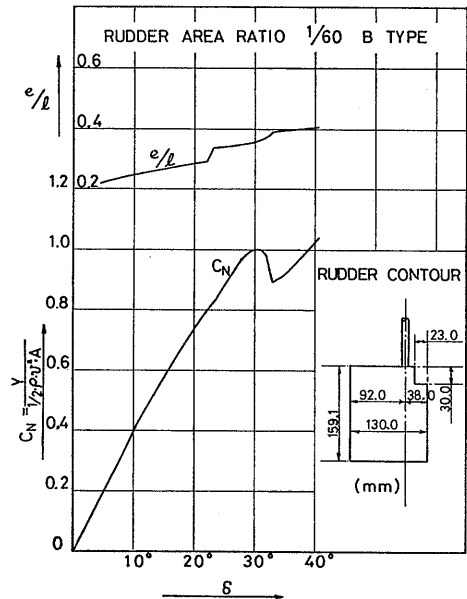


Fig. A-4  $C_N$  Curve

舵単独の場合の一般的傾向は舵角  $0^\circ$  より  $20^\circ$  付近までは舵附近の流れに乱れはなく記録にも小さい振動が出る程度である。この舵角をこすと舵上部の流れにそわした絹糸は前後上下にふれ始め、記録にも大きい振動があらわれ、剥離を生じはじめたことが分かった。

これは舵上部は舵固定部を含めて流線形になるよう設計されているのに今回は舵固定部をつけなかったために他の流線形部分より早く剥離を生じたものと判断される。この結果、圧力中心も後方に移動する。

更に舵角を増すと剥離は次第に上下に広がり  $25^\circ$  付近で全面にわたり剥離し、直圧力は減少し圧力中心も後方に移動する。この舵角をこえると直圧力は再び増加する。

今回の舵の縦横比の大きさは1/60A型、1/50、1/60 B型の順序で、 $C_N$  曲線の傾斜はこの順で小さくなり、全面剥離する舵角はこの順で大きくなっている。

舵軸後方舵上部に鱗をつけた場合の  $C_N$  と  $e/l$  の曲線を Fig. A-5 に示す。この場合の  $C_N$  曲線の傾斜は前三者よりも大きい、舵上部の剥離し始める舵角はやや早く、且つ舵上部を通して舵の裏面に流入する流れが鱗で阻止されるために剥離は引続いて下方に広がり  $C_N$  曲線は減少をつづけ  $35^\circ$  をこしても増加しない。

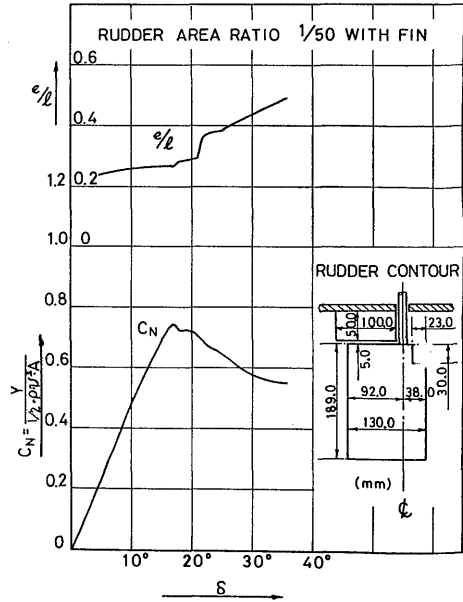


Fig. A-5  $C_N$  Curve

