

幅広肥大船の操縦性能について(第2報)*

森 信 篤**
山 本 徳 太 郎**
森 政 彦**
原 口 富 博**

On the Manoeuvrability of Huge and Wide Beam Tankers. (Part 2)

by

Nobuatsu MORI, Tokutaro YAMAMOTO,
Masahiko MORI and Tomihiro HARAGUCHI

Abstract

In the previous paper, the results of the series tests on the manoeuvrability of the huge tanker models, L/B of which were 4.0, 5.0 and 6.0 respectively, were reported. The estimation of the course stability of the actual ships was difficult from the results, because the $r'-\delta$ curves showed the unusual characteristics in the range of small rudder angles.

Using the models with modified sterns so as to suppress the above mentioned characteristics, the series tests were carried out again. From the results, it was made clear that the unusual characteristics disappeared by the modification and the estimation of the course stability of the actual ships became possible by the model tests.

In addition, some investigations were made on the effects of the rudder area ratio and its aspect ratio, the control method of the driving motor upon the manoeuvrability and also on the causes of scattering of the $r'-\delta$ curves in the range of small rudder angle.

1. はじめに

先に幅広肥大船の一船型について、載貨重量, C_B , L/d を一定に保ち, L/B が5.0のものを母型として, L/B を4.0と6.0に変化させた場合と, 母型で舵面積比と舵形状とを変えた場合等の自航模型船による系統的な操縦性試験の結果を報告したが¹⁾, 幅広肥大船の操縦性能のうちで問題になるのは針路安定性であるの

に, 実験した3隻共に原型では $r'-\delta$ 曲線の小舵角の範囲にいわゆる異常現象があらわれ, かつ特性の不安定さを示す実験点のばらつきも多く, 模型船相互の針路安定性の比較は出来ても, これらより実船の針路安定性の優劣は推定出来なかった。しかしこのような特異な現象も船尾部を若干改造することにより取り除くことが出来る見通しはついた。そこで今回はこのような特異な現象を伴わないように船尾部を改造した船型について, 前回同様に L/B を変化させた系統的な操縦性試験を実施した。また母型について舵面積比と舵縦

* 原稿受付 昭和51年11月4日

**運動性能部

横比を変えた試験を行った。この外に今回の船型でもなお $r-\delta$ 曲線の小舵角の範囲で特性の不安定さを示す異常な実験点のばらつきが若干みられたので、推進器孔をその上部をふさいで小さくした場合の試験を行った。さらに模型船を駆動するには従来より分捲電動

機を使用し、電機子の電圧を一定に保ちながら航走させて試験をしてきたが（この場合はほぼ回転一定）、これを電機子の電流を一定に保ちながら航走させる試験をした（この場合はほぼトルク一定）。この報告はこれら一連の試験結果を取りまとめたものである。な

Table-1 PRINCIPAL DIMENSIONS.

PRINCIPAL DIMENSIONS.						
	SHIP	MODEL	SHIP	MODEL	SHIP	MODEL
HULL						
MODEL NO.		138 M		136 M		137 M
LENGTH P.P. (L)	431.0 m	4.000 m	464.0 m	4.000 m	493.2 m	4.000 m
BREADTH MLD. (B)	107.7 m	1.000 m	92.8 m	0.800 m	82.2 m	0.667 m
DRAFT MLD. AT F.P. (d_f)	31.6 m	0.293 m	34.0 m	0.293 m	36.1 m	0.293 m
DRAFT MLD. AT Δ (d_m)	31.6 m	0.293 m	34.0 m	0.293 m	36.1 m	0.293 m
DRAFT MLD. AT A.P. (d_a)	31.6 m	0.293 m	34.0 m	0.293 m	36.1 m	0.293 m
Δ		964.3 Kg		771.3 Kg		642.7 Kg
C_B		0.82		0.82		0.82
L/B		4.00		5.00		6.00
B/ d_m		3.41		2.73		2.28
L/ d_m		13.65		13.65		13.65
δ_{cb} IN % OF L		-2.90		-2.94		-2.90
PROPELLER						
DIAMETER			11.20 m	0.09655 m		
PITCH			6.80 m	0.05862 m		
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		

M.NO. 136M
 L. 4.000m.
 B. 0.800m.
 d. 0.293m.
 L/B 5.00
 C_B 0.82

MNO.	MARK
136	----
136M	—

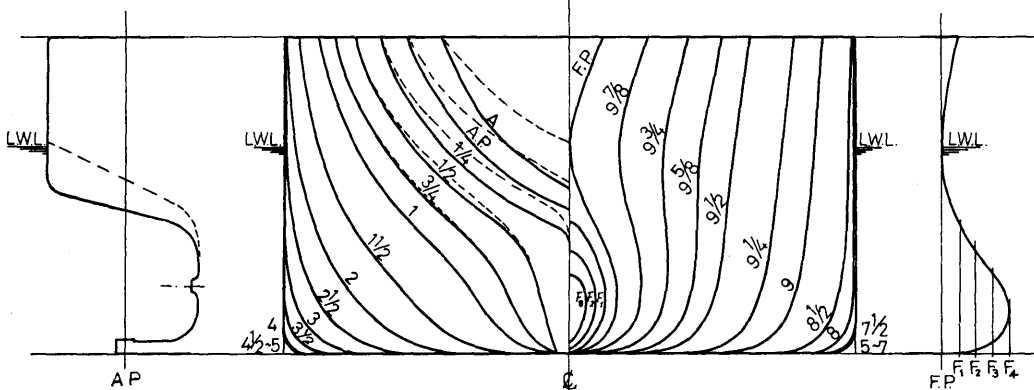


Fig-1 BODY PLAN AND CONTOUR OF BOW AND STERN

法等は前回と同様であるが、これを Table-1 に示す。

母型の正面線図と船首尾形状を前回の母型と比較して Fig-1 に示す。L/B が 4.0 と 6.0 の船は、母型の d を一定に保ち、幅を母型に対する L/B の逆比で広げまたは狭めたものである。模型船番号は前回のものの末尾に M をつけて区別することとした。

推進器は前回使用した母型用のものを 3 隻共に使用した。

舵は舵面積比が 1/55 のものを原型として 3 隻に共通して用いた外に、母型では舵面積比を 1/60 とし縦横比を変えた A, B 2 種の舵をも用いた。A 型は舵の高さは原型と同じにして幅を変えて、B 型は舵の幅は原型と同じにして高さを変えて、それぞれ舵面積比が 1/60 になるようにしたものである。従って縦横比は原型の 1.33 に対してそれぞれ 1.45, 1.22 である。これらの舵の形状を Fig-2~4 に示す。

また推進器孔上部をふさぎ小さくした場合の推進器孔の形を Fig-5 に示す。

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

試験速度はいずれの場合も実船の 15Kt に相当する速度とした。

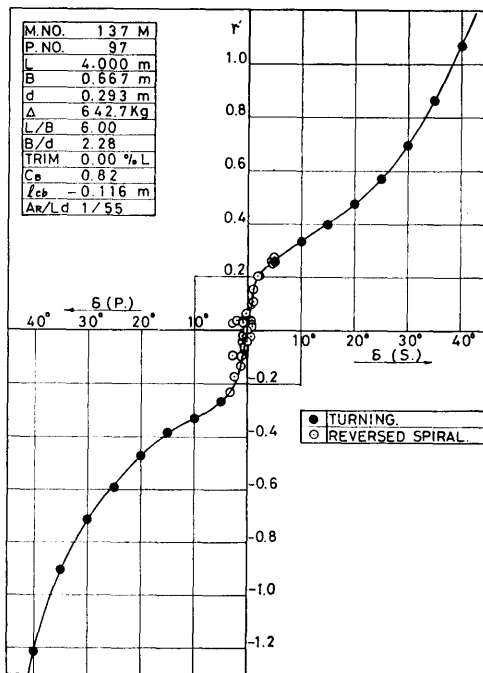


Fig-6 r'-δ CURVE

試験の種類、試験の実施要領等はすべて前回と同様とし、特に風等によるかく乱の混入は出来るだけ避けよう十分注意した。

3. 試験結果と考察

3.1 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 1/55 の舵を用い、旋回試験と逆スパイラル試験により求めた $r'-\delta$ 曲線を Fig-6~8 に、またこれらの曲線を比較に便利のように実験点は取り除き曲線のみを重ねたものを Fig-9 に示す。これらの図より分るように、この船型の旋回性は極めて良好であり、L/B が小さくなる程旋回性は良くなっている。例えば L/B が 6.0 と 4.0 の模型船の舵角 15°, 25°, 35° に対する r' の値の、L/B が 5.0 の模型船の同じ舵角に対する r' の値に対する比率は、L/B が 6.0 の模型船の 15°, 25° では右舷は約 0.86 倍、左舷は約 0.82 倍、35° では左右舷共に約 0.76 倍で、全体を平均すると右舷は約 0.83 倍、左舷

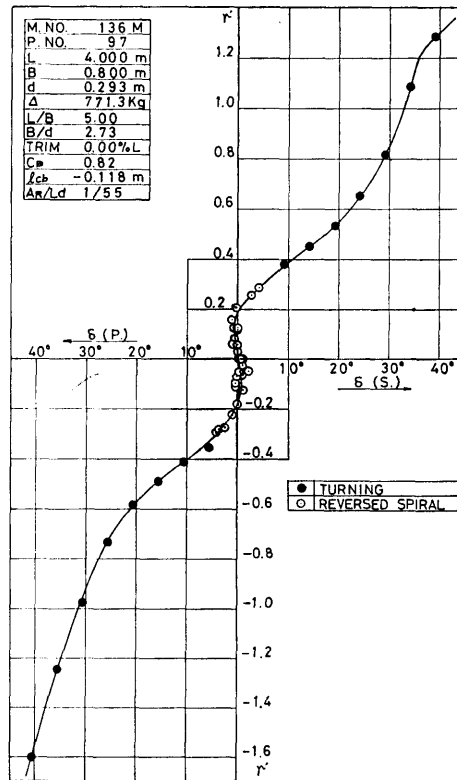


Fig-7 r'-δ CURVE

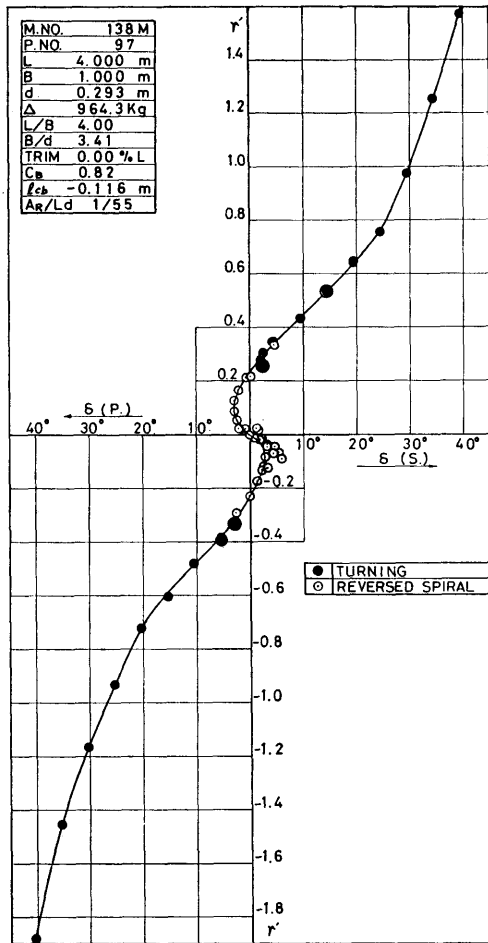


Fig-8 $r'-\delta$ CURVE

は約0.80倍である。またL/Bが4.0の模型船の15°, 25°では右舷は約1.18倍, 左舷は約1.25倍, 35°では右舷は約1.13倍, 左舷は約1.19倍で, 全体を平均すると右舷は約1.16倍, 左舷は約1.23倍である。これらをまとめると旋回性はほぼL/Bの逆比に近い比率で変化していると言える。

更に各L/Bの模型船毎に, 船尾の改造前と改造後の船型の $r'-\delta$ 曲線を比較に便利なように実験点を取り除き曲線のみを重ねたものを Fig-10~12 に示す。

L/Bが6.0の模型船では改造後の r' の値は改造前の r' の値に比べて右舷では舵角15°で約8%大きく, 漸次減少して30°付近ではほぼ等しくなり, 35°では逆に約2%小さくなっている。左舷では舵角15°で約3%

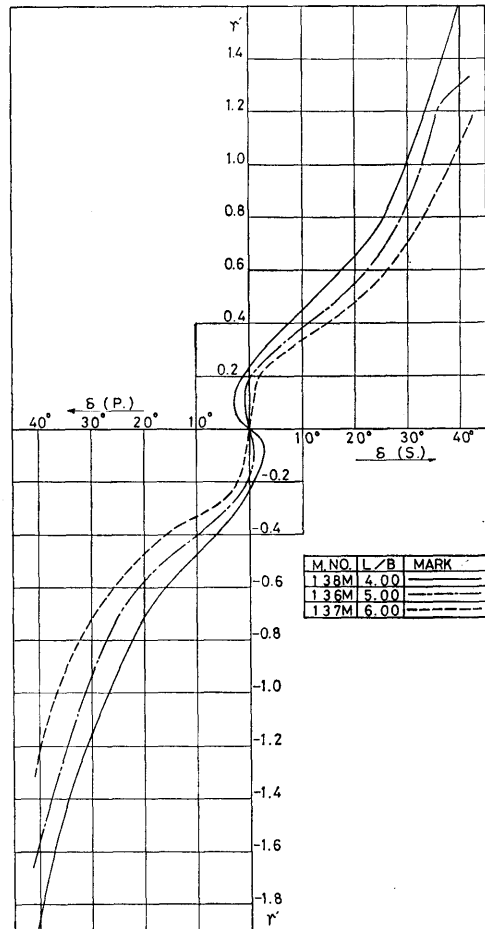


Fig-9 COMPARISON OF $r'-\delta$ CURVE (EFFECT OF L/B)

大きく, 漸次減少して30°付近ではほぼ等しくなり, 35°では再び約3%大きくなっている。全般的にみて両者の $r'-\delta$ 曲線の舵角約15°以上の部分はかなり近似した形をしている。

L/Bが5.0の模型船では改造後の r' の値は改造前の r' の値に比べて右舷では舵角15°で約14%, 25°で約6%, 35°で約10%, また左舷では舵角15°で約10%, 25°で約6%, 35°で約8%と全般的に平均して約9%程大きくなっている。

L/Bが4.0の模型船では改造後の r' の値は改造前の r' の値に比べて右舷では舵角15°で約14%, 25°で約3%, 35°で約8%, また左舷では舵角15°と25°で約8%とそれぞれ大きくなっており, 舵角35°ではほぼ

等しく、全般的に平均して約8%程大きくなっている。

このように船尾改造後の模型船の旋回性は舵面積比も舵縦横比も共に小さくなっているにもかかわらず約3~9%程よくなっている。この原因については改造により船尾付近の剥離や渦の発生等の流れの状態が変化したためであろうと推察されているが、旋回中の船尾流線の観測が出来なかったので、どのような機構で旋回性が良くなったかは今のところつまびらかでない。

b) 針路安定性について

Fig-6~8 より分るように、船尾を改造したことによりいずれの模型船でも $r'-\delta$ 曲線の小舵角の範囲では、いわゆる異常現象が消滅して、普通に見られる直線形(安定形)またはS字形(不安定形)になり、従って模型試験結果より実船の針路安定性の優劣の推定も出来るようになった。

L/B が6.0の模型船の $r'-\delta$ 曲線の r' が約±0.2の間はほぼ直線で、舵角0°の線にごく接近して立っていて、かなり限界に近いけれども針路安定であることを示している。また L/B が5.0と4.0の模型船の $r'-\delta$ 曲

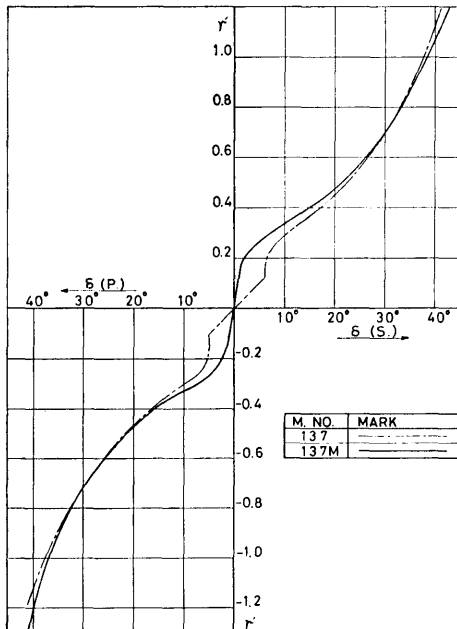


Fig-10 COMPARISON OF $r'-\delta$ CURVES (L/B=0.6)

線の小舵角の範囲は共にS字形になっていて、舵角0°における r' の値はそれぞれ約±0.18, 約±0.23, またS字形の幅はそれぞれ約±0.8°, 約±3.0°の不安定領域があって針路不安定であり、かつL/Bが小さくなる程その程度も悪くなっていることを示している。

更にこの船型ではいずれの模型船でも小舵角の範囲で特性の不安定さを示す実験点のばらつきがあるが、この事については3.3の項で述べることにする。

c) A/L, T/L, TD/L, V_T/V_A について

3隻の模型船の旋回試験で得られた縦距A, 横距T, 旋回圏TDのそれぞれと船長Lとの比および旋回中の速度 V_T と直進時の速度 V_A との比を r' をベースに置点したものをFig-13~15に示す。

いずれの模型船も同じ r' に対するA/L, T/L, TD/L, V_T/V_A の値には大差はないが、一般の船型と比較

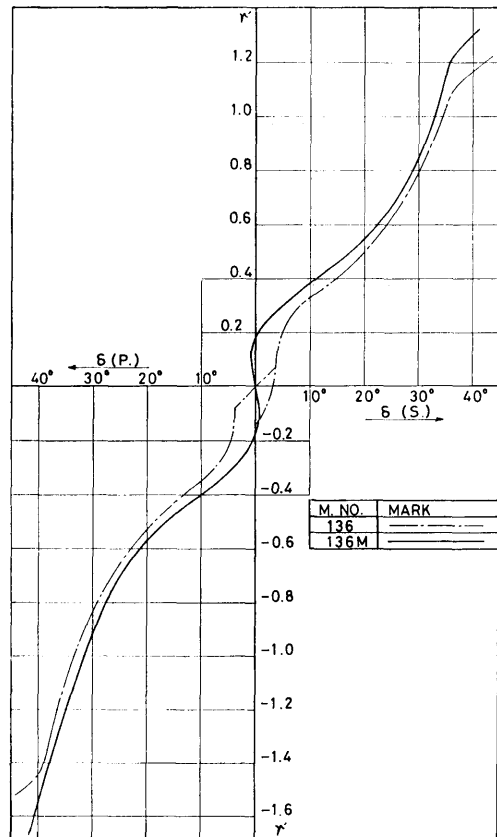


Fig-11 COMPARISON OF $r'-\delta$ CURVES (L/B=5.0)

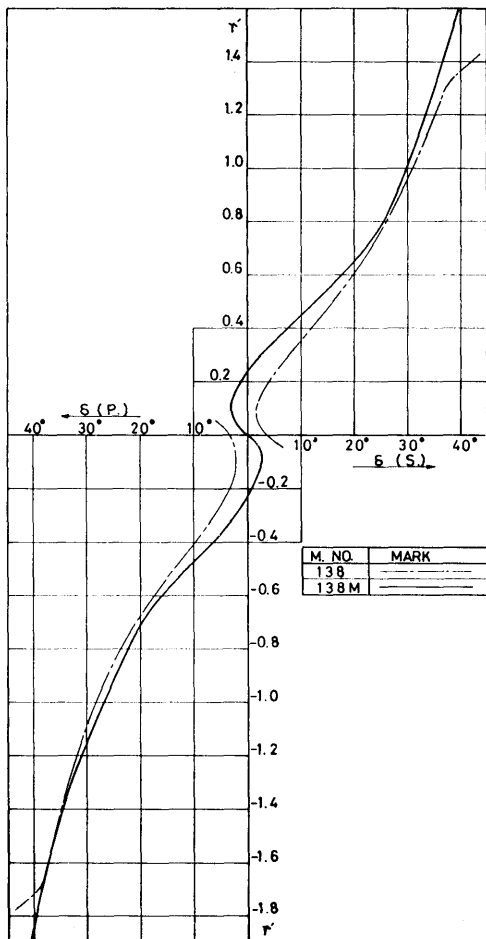


Fig-12 COMPARISON OF $r'-\delta$ CURVES
($L/B=4.0$)

すると V_T/V_A が小さく、旋回中の速度低下が大きいようである。

また船尾部の改造前後の船型の同じ r' に対するこれらの値を、各模型船毎に比較してみると、局部的には次のように多少の差異はあるが、その他の大部分はかなり近似している。すなわち L/B が 6.0 の模型船では、右舷の A/L は r' が約 0.5~約 0.9 の範囲で、 V_T/V_A は r' が約 0.6 より小さい範囲でそれぞれ改造後の方が若干大きくなっている。また左舷の A/L と T/L は r' の約 0.4 より小さい範囲で、 TD/L は r' が約 0.8 より大きい範囲で、 V_T/V_A は r' が約 0.6 より小さい範囲でそれぞれ改造後の方が若干大きくなっている。

L/B が 5.0 の模型船では、両舷の A/L は r' が約 0.4

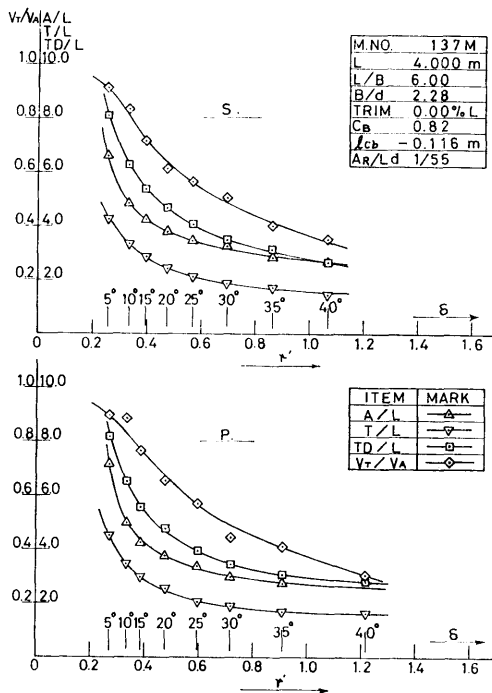


Fig-13 A/L etc- r' CURVES

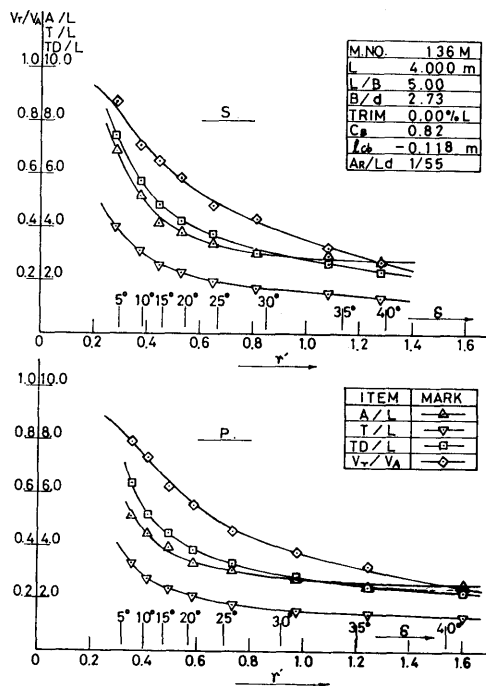


Fig-14 A/L etc- r' CURVES

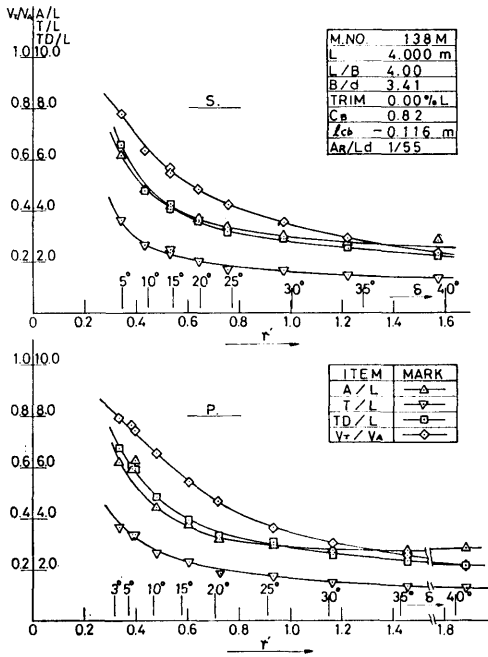


Fig-15 A/L etc-r' CURVES

より小さい範囲で、わずかに改造後の方が大きくなっている。

L/Bが4.0の模型船では、右舷の V_{Tr}/V_a は r' が約0.6～約1.2の間で、また左舷のA/Lは r' が約0.4～約1.0の間で、改造後の方がそれぞれ若干小さくなっている。

3.2 操縦性能に及ぼす舵面積比と舵形状の影響について

母型で舵面積比1/60でA型とB型の舵を用い旋回試験と逆スパイラル試験により求めた $r'-\delta$ 曲線をFig-16, 17に示す。またこれらの曲線を比較に便利なように実験点を取り除き曲線のみを重ねたものを、舵面積比1/55の舵を用いた場合の $r'-\delta$ 曲線を加えたものをFig-18に示す。

またA/L etc-r'曲線をFig-19, 20に示す。

a) 旋回性について

Fig-18より分るように、舵面積比が1/55の場合と1/60A型の場合との $r'-\delta$ 曲線を比較すると左右舷共にほとんど重なっており、旋回性はほとんど変りない。これは舵面積比の減少による舵効果の減少と舵縦

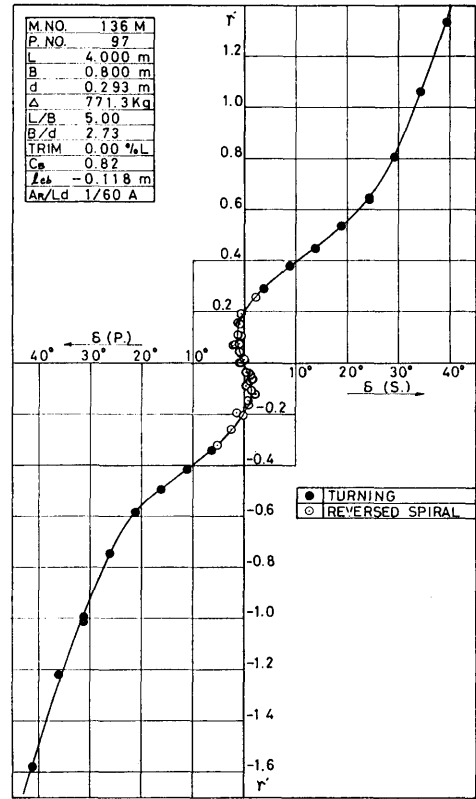


Fig-16 r'-delta CURVE

横比の増大による舵効果の増大とが互に相殺してこのような結果になったものと判断される。舵面積比が1/55の場合と1/60B型の場合との $r'-\delta$ 曲線を比較すると、同じ δ に対する r' の値は右舷では全般的に後者の方がわずかに小さく、例えば舵角15°で約2%、25°で約3%、30°で約4%小さく、35°以上では曲線の傾向が多少ちがうために差が大きくなっている。左舷では全般的に後者の方がかなり小さく、例えば舵角15°で約9%、25°で約12%、35°で約16%程小さい。これは舵面積比の減少と縦横比の減少による舵効果の減少が重なってこのような結果になったものと判断される。

要するに舵面積比、舵形状を変えた場合の旋回性は1/55の場合が最もよく、1/60A型の場合がこれにつき、1/55の場合とほぼ一致しているとみなせる程度で、1/60B型の場合が最も悪く、1/55の場合に比較してかなり劣る。

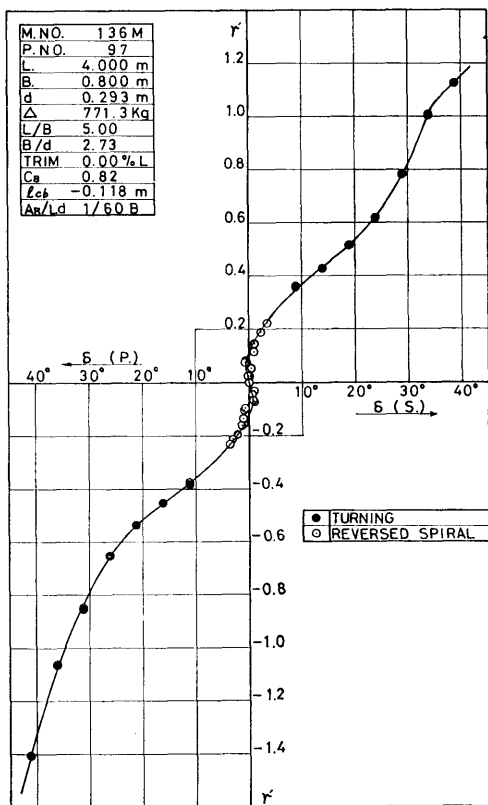


Fig-17 $r'-\delta$ CURVE

b) 針路安定性について

いずれの場合もいわゆる異常現象は現れてはいないが、小舵角の範囲の $r'-\delta$ 曲線はS字形で針路不安定であることを示している。その不安定領域は舵面積比が1/55の場合、 0° における r' の値が約 ± 0.18 、S字形の幅が約 $\pm 0.8^\circ$ であるのに対して、舵面積比1/60のA型とB型の場合のこれらに対応する値は、約 ± 0.2 と約 $\pm 1.5^\circ$ および約 ± 0.12 と約 $\pm 0.6^\circ$ であって、針路不安定の程度は1/60B型の場合が最も最も良く、1/55の場合がこれにつき、1/60A型の場合が最も悪いことになる。なおいずれの場合も特性の不安定さを示す実験点のばらつきが多い。

c) A/L, T/L, TD/L, V_T/V_A について

Fig-19, 20より分るように同じ r' に対する A/L, T/L, TD/L, V_T/V_A は舵面積比が1/55の場合と比較していずれも大差はない。

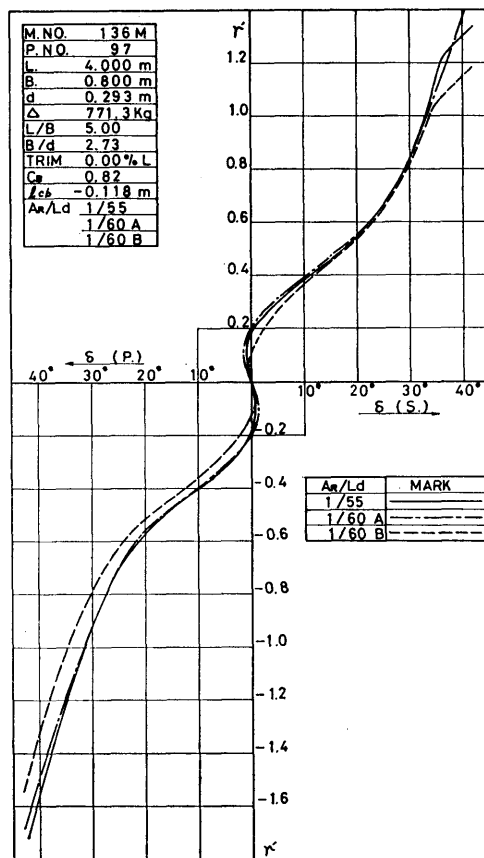


Fig-18 COMPARISON OF $r'-\delta$ CURVES (EFFECT OF RUDDER FORM AND A_R/Ld)

3.3 小舵角の範囲における特性の不安定さについて

今回の船型でも前述のように小舵角の範囲で特性の不安定さを示す実験点のばらつきが見られた。この原因は前回報告したと同様に、一方の舷の船尾付近で出来た渦が何等かの原因で大きな推進器孔の上部を通りぬけて反対舷に流れ込んだり、また元にもどったりするためと判断し、母型および L/B が 4.0 の模型船で Fig-5 に示すように推進器孔上部をふさいで操縦性試験を行った。ただし今回は薄い金属板で推進器孔上部をふさぎ、その付け根を僅かに油粘土で丸みをつけるにとどめ、船型そのものは変えないようにした。操縦性試験の結果得られた $r'-\delta$ 曲線をそれぞれ Fig-21, 22 に示す。Fig-21 と 7, Fig-22 と 8 を比較すると分るように、平均曲線はそれぞれでほとんど変ら

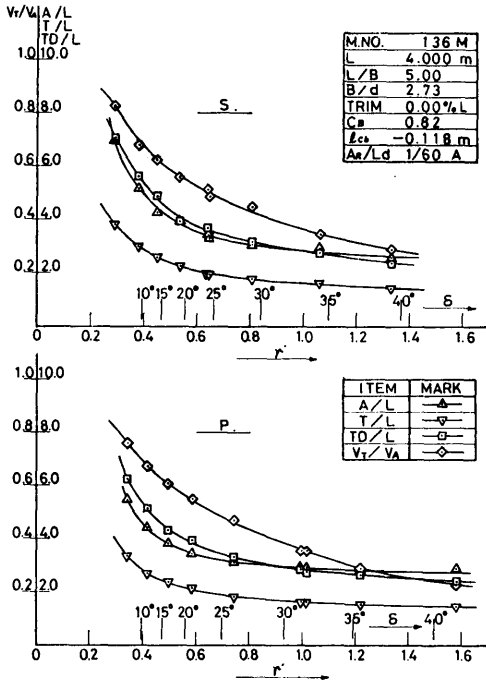


Fig-19 A/L etc-r' CURVES

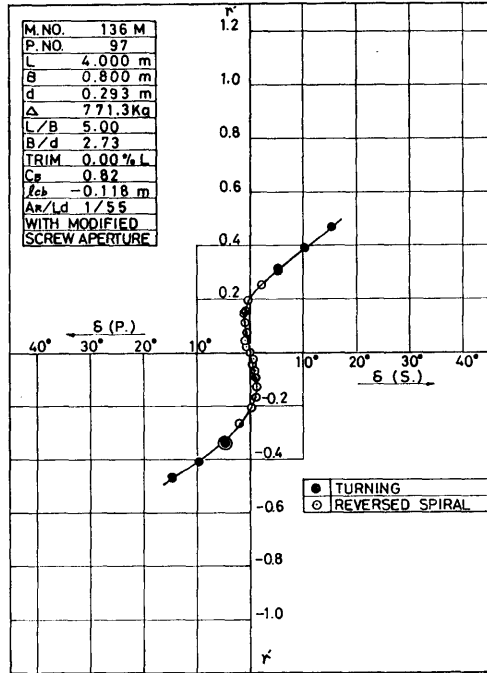


Fig-21 r'- δ CURVE

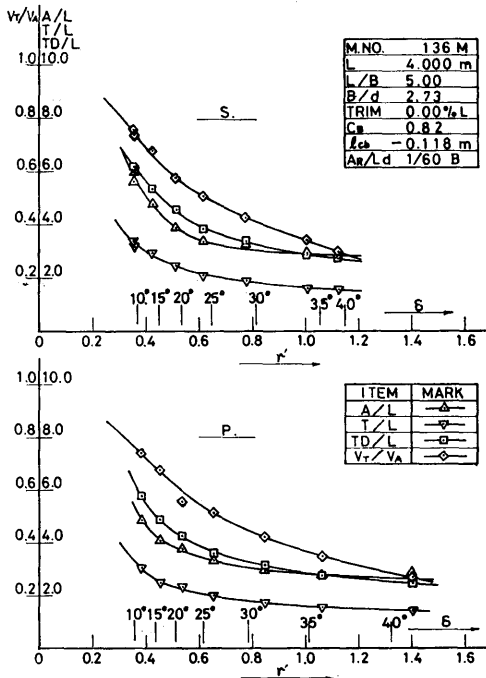


Fig-20 A/L etc-r' CURVES

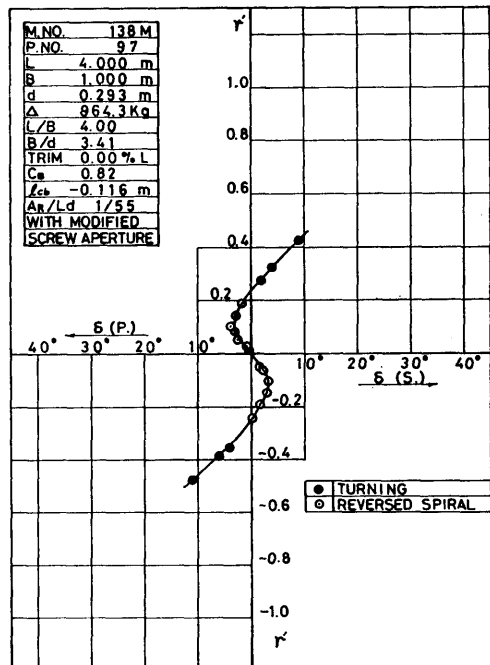


Fig-22 r'- δ CURVE

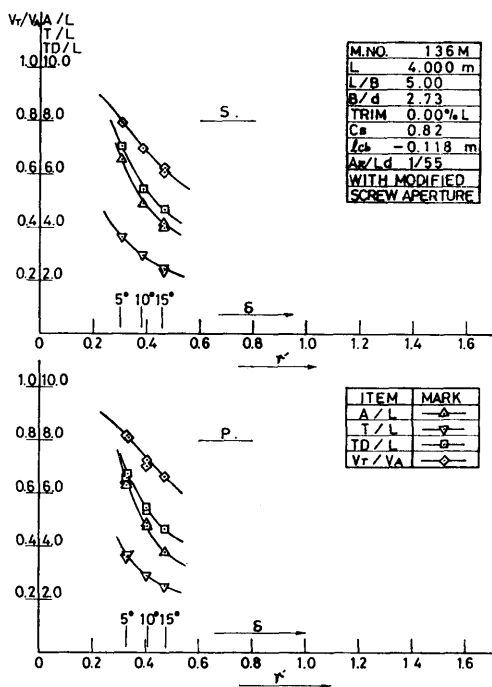


Fig-23 A/L etc-r' CURVES

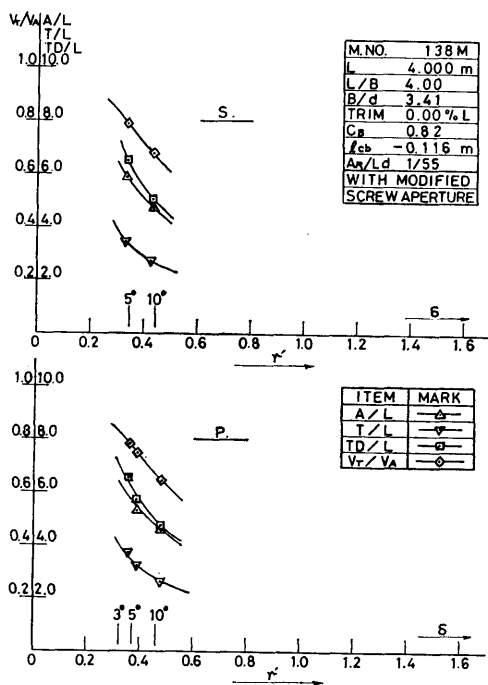


Fig-24 A/L etc-r' CURVES

ないで、特性の不安定さを示す実験点のばらつきはほとんど消滅している。すなわち今回の船尾形状の改造に伴う推進器孔の縮小でもなお推進器孔が過大であることが分った。なおこの場合の A/L etc-r' 曲線を Fig-23, 24 に示すが、これらもまた原型の場合と比較してほとんど変化はない。

3.4 操縦性能に及ぼす原動機の影響について

自航模型船を用いて操縦性試験を行う場合、原動機としては分捲電動機を用い、これを昇磁には定格電圧を供給し、電機子にはその時の試験速度にみあう電圧を調べて、これを負荷の変動に関係なく常に一定になるよう制御して供給して（この場合ほぼ回転一定とみなせる）試験を行うのが普通であり、当部でも従来よりこの方法で試験を行って来た。実船ではディーゼル（ほぼトルク一定）またはタービン（ほぼ出力一定）が原動機として多く用いられているので、原動機

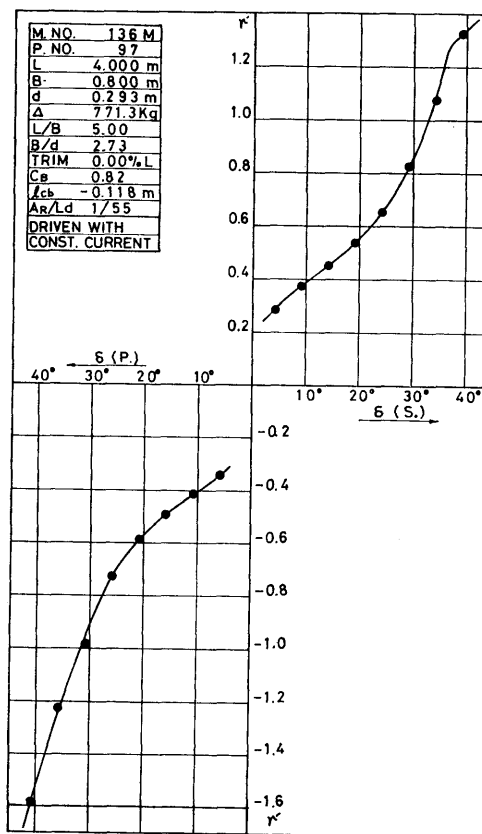


Fig-25 r'-δ CURVE

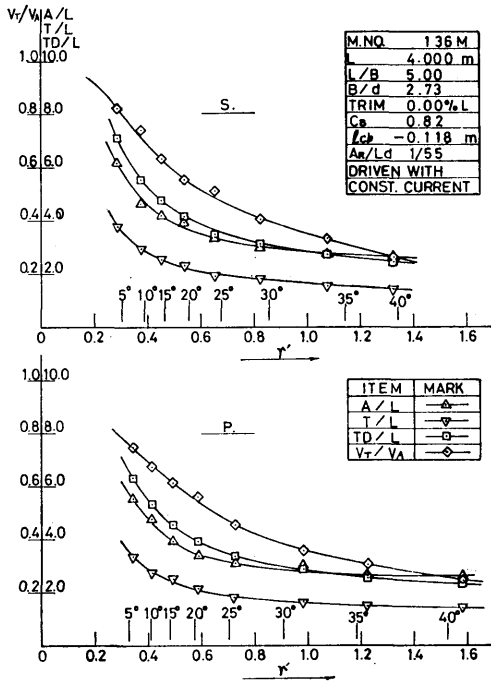


Fig-25 A/L etc-r' CURVES

の特性の相違が操縦特性に影響を与え、実船一模型船間の相関にも影響を与えるのではないかと懸念がないわけではなかった。今回自航模型船用の定電流電源をつくり、界磁には定格電圧を、電機子にはその時の試験速度にみあう一定電流を供給し、かつトルク計の出力が常に一定になるように調整しながら試験をした。試験は母型のみで、かつ旋回試験のみとした。試験結果より得られた $r'-\delta$ 曲線を Fig-25に、又 A/L etc-r' 曲線を Fig-26に示す。Fig-25と 7とを比較して分るように二つの $r'-\delta$ 曲線はほとんど一致しており、又 Fig-26 の曲線は Fig-13の曲線にごく近似しており、ほぼ回転一定でもトルク一定でも旋回特性は変わらないことが分った。

3.4 操縦性能に及ぼす鰭の影響について

本船型では L/B が 5.0 と 4.0 の模型船の $r'-\delta$ 曲線に不安定領域があるので、これを少しでも小さくしようとする試みとして、母型の船尾のオーバーハング部の下面で船体中心線より両舷 6 cm の所に船体中心線面に平行に面積比 A_F/Ld (A_F は鰭 1 枚の側面積) が 1/200 の鰭を取りつけて試験を行った。

試験の結果得られた $r'-\delta$ 曲線および A/L etc-r'

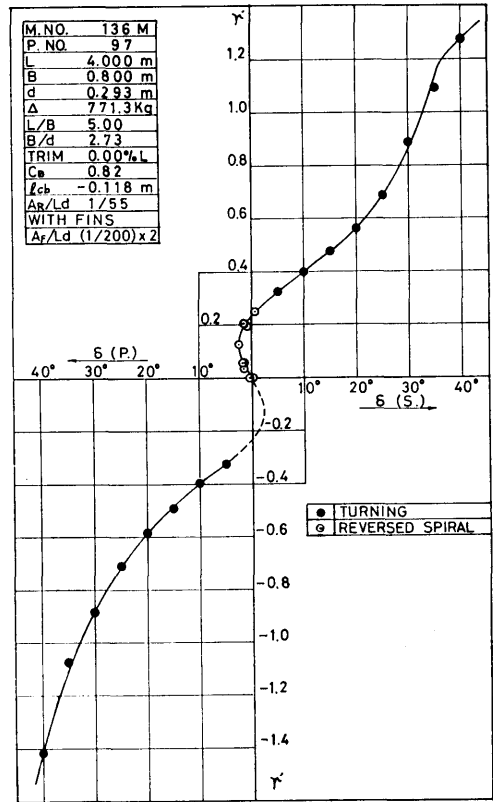


Fig-27 r'-δ CURVE

曲線を Fig-27, 28 に示す。これらの図と鰭のない場合の Fig-7, 13 と比較すると、右旋回での r' は両者ほとんど変わらず、左旋回でも舵角 25° 付近まではほとんど変わらないが、25° を超すと鰭付の場合の r' が漸次小さくなり 40° で約 9% も小さくなっている。また小舵角の範囲の不安定領域も 0° における r' の値は約 ± 0.23, S 字の幅も約 2.4° で鰭のない場合のそれぞれの約 1.3 倍, 3.0 倍となって、針路安定性も悪くなっている。一方 A/L etc-r' 曲線は鰭のない場合とごく近似しているが、要するに前回と異なる鰭の付け方をして見たが操縦性能は改善されないことが分った。

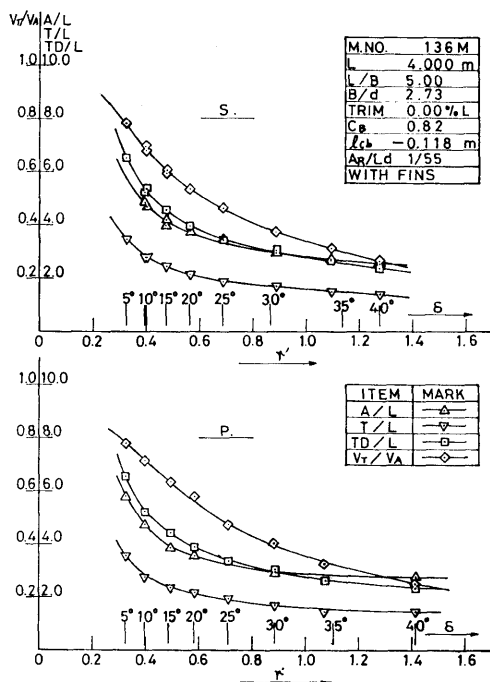


Fig-28 A/L etc—r' CURVES

4. む す び

先に報告した幅広肥大船の一船型の船尾オーバーハング部分を若干下げた船型について、前回とほぼ同様な自航模型船による系統的な操縦性試験を行い、次の諸点を明らかにすることが出来た。

1) 操縦性能に及ぼす L/B の影響について

a) 旋回性は 3 隻共にきわめて良好で、L/B が小さく幅広になる程よくなる。すなわち母型の L/B が 5.0 の模型船の舵角 15°, 25°, 35° の時の r' に対する、L/B が 6.0 の模型船の対応する舵角の r' の比の平均値は、右舷で約 0.83、左舷で約 0.80 であり、L/B が 4.0 の模型船の同じ比率は、右舷で約 1.16、左舷で約 1.23 であり、ほぼ L/B の逆比に近い比率で変化している。

また船尾部改造前後の旋回性は、L/B が 6.0 の模型船では改造後の方が心持ち良いと言う程度である。L/B が 5.0 と 4.0 の模型船では同じ舵角に対応する改造前後の r' の比は、舵角により多少の差異はあるが平均して約 8% 程改造後の方が大きく、旋回性はそれだけ良くなっている。

b) 針路安定性については、船尾を改造したことに

より、3 隻共に r'-δ 曲線の小舵角範囲は、いわゆる異常現象が消滅して、普通にみられる直線形又は S 字形になり、従って模型試験結果より実船の針路安定性の優劣も推定出来るようになった。

r'-δ 曲線の小舵角範囲は L/B が 6.0 の模型船では垂直に近い直線で、限界に近いが針路安定であり、L/B が 5.0 と 4.0 の模型船では共に S 字形で針路不安定であり、その不安定領域は L/B が 4.0 の方が大きい。言いかえると L/B が小さく幅広になる程針路安定性は劣化する。

c) 同じ r' に対する縦距、横距、旋回圏および速度低下率は 3 隻共にほとんど差異はない。

2) 操縦性能に及ぼす舵面積比と舵形状の影響について

a) 母型についてのみ試験をした。

旋回性は舵面積比が 1/55 の場合が最も良く、舵面積比が 1/60 で A 型の場合がこれにつぐが、その差異はわずかである。舵面積比が 1/60 で B 型の場合が最も悪く、同じ舵角に対する r' は前二者と比べて右舷で数%, 左舷では舵角により多少差異はあるが平均 10% 近く小さい。

b) 針路安定性はいずれの場合も小舵角の範囲での r'-δ 曲線は S 字形で針路不安定であり、その不安定の程度は舵面積比が 1/60 の B 型が最も良く、1/55 の場合がこれにつぎ、1/60 の A 型が最も悪い。

c) 同じ r' に対する縦距、横距、旋回圏および速度低下率は舵面積比、舵形状の変化にかかわらずほとんど近似している。

3) 小舵角の範囲における特性の不安定性について

今回の船型においても、いずれの場合にも小舵角の範囲において特性の不安定性を示す実験点のばらつきが見られたので、前回同様に推進器孔上部をふさぎ推進器孔を小さくした結果、r'-δ 曲線はほとんど変わらずに実験点のばらつきはほとんど消滅した。すなわち今回の改造でもなお推進器孔が大きすぎる事が分った。

4) 操縦性能に及ぼす原動機特性の影響について

従来より自航模型船で試験をする場合、分捲電動機を定電圧制御で駆動してきたが(ほぼ回転一定)、これを定電流制御で駆動して試験をしたところ(ほぼトルク一定)、母型による旋回試験のみではあるが、r'-δ 曲線は両者ほとんど一致して、電動機の駆動要領には影響をうけないことが分った。

5) 操縦性能に及ぼす鰭の影響について

針路安定性を少しでも改善しようとする試みとして船尾オーバーハング部下面両側に鰭をつけて試験をしてみた。前回とは取り付け位置をかえてみたけれども針路安定性は改善されないことが分った。

参考文献

- 1) 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
船舶技術研究所報告 第12巻第6号
昭和50年10月