

巡視船の低速航行時，惰航時および 後進時の操縦性に関する模型実験

山内保文* 高石敬史* 菅井和夫*

Model Experiments on the Manoeuvrability of a Patrol Ship Running at Low Speed, Running Ahead by Inertia and Running Astern

By

Yasufumi Yamanouchi, Yoshifumi Takaishi and Kazuo Sugai

The good manoeuvrability is claimed rather when the ship is advancing with slow speed or with varying her speed as she enters into or comes out of the harbour, than when she is advancing at the service speed in the open sea.

At present, however, the researches are carried out mainly concerning the ship at service speed or rather at high speed, and very few are known on the character of ship manoeuvrability at low speed or when the screw is stopped or turned astern.

It is pertinent that the ITTC adopted the proposal made by one of the authors¹⁾, and recommended the promotion of the study of these characters.

In order to give a start to the investigations of these characters, the authors performed a series of experiments using a radio-controlled free running 3.8m model of patrol ship type.

The unstationary or transient condition of the ship motion was replaced by the sequence of five quasi-stationary stages as follows, and the manoeuvrability of the ship was investigated at each stage.

- (1) The ship is advancing at slow speed with the screw turning ahead.
- (2) The screw is stopped to turn, but the ship is still advancing with inertia.
- (3) The screw starts to turn reversely (astern), but the ship is still advancing ahead with inertia.
- (4) The ship speed becomes zero by screw turning astern.
- (5) The ship is going astern with the screw turning astern.

In order to realize these stages stationary, the thrust was given by an air propeller equipped on the deck near the pivoting point of the model, besides the water screw.

The results obtained are as follows:

- (1) The manoeuvrability of ship at low speed is almost the same with that of the ship at moderate speed as far as the screw is turning ahead.
- (2) When the screw stops to turn while the ship is advancing ahead, the course keeping quality and the turning quality becomes poor drastically, because of the lack of the propeller slip

* 運動性能部

stream to the rudder and at this model, without increasing the rudder area and skeg, it is hard to keep her course.

- (3) When the screw turns astern, the screw race gives a strong turning moment to the hull to one side, (the moment to swing the stern to the left for the ship with right turning screw) that is proportional to the square of the number of revolution regardless the advance speed. The rudder force is rather small compared with this, and as the results, the controllable range becomes very narrow when the screw turns astern.

When the model goes astern even by the helm hard over to starboard, the model keeps to turn to the port, and can not be put under control.

1. ま え が き

従来、船の操縦性の研究といえば、その殆んどが大洋を航行する時のような、かなり速い速度の場合についてのみ行われて来た。しかしながら、船がこのように速い速度で航行するのは比較的広い海域であつて、そのような所では船の操縦は目途す航路に対する偏倚を修正するのが主で、大きく操舵して船の針路を急に交える必要は殆んど生じない。しばしば操舵して他の船舶や障害物を避けながら航海しなければならないのは、むしろ港の出入や運河等の狭い航路を航行する場合で、そのような場合には一般に船は低速で、しかもしばしば速度を変え、時には後進をかけながら操船される。このような場合の操縦性の良否が船の衝突座礁等の事故を防ぐ上の重要な要素となる。しかるに、このような低速時および後進時の船の操縦性に関する研究資料は極めて乏しく、造船者及び操船者にとつてこの方面の解明が待たれている。国際的にも、1963年のITTC会議において、低速時および後進時の船の操縦性の研究を促進すべきことが我国によつて提案され、採択されている¹⁾。

その後、たまたま海上保安庁130吨「ひだか」型巡視船の惰航時および後進時の操縦性能に関し問題が提起され、その模型試験が船舶技術研究所運動性能部によつて担当された。本報告は、その概要を述べたもので、一般型についての概ね定性的な研究に止り、充分とは云い難いがこの方面の研究の緒を開くものとして意義はあるものと思われる。

このような速度制御を含む場合の船の操縦運動を理論的に取扱うためには、係数に速度の項を含む非線型の運動方程式を解く必要があり、その係数自体を実験的に求めるにしても、かなり複雑な実験手段を必要とするであろう。我々は低速航行→エンジンストップ惰力航行→後進発令→船体停止→後進の一連の運動を連

続的に取扱うことをしばらく措いて、これらの現象間に於ける代表的な運動状態5つをとりあげ、これらの状態が定常的に持続した場合を実験的に考察することにより現象を解明すると共に、将来のこの方面の研究の足がかりを得ようと考えた。取扱つた現象は次のような場合の操舵に対する運動である。

- イ) 低速前進時 (速度影響も考察)
- ロ) プロペラ停止, 惰力前進中
(かじ面積, スケグ面積の影響も考察)
- ハ) 惰力前進中, プロペラ逆転
- ニ) 船体停止, プロペラ正逆転
(プロペラ回転数の影響も考察)
- ホ) プロペラ逆転後進中

エンジン操作による速度変化が回頭運動に比べてゆるやかであれば、前後進切換時の船の運動の過渡現象はこれらの定常運動をつなぎ合わせればよい。これらの各段階について、先づ考えられるそれぞれの特徴を示すと次のようになる。

(1) 第一段階……プロペラは正回転しており、その発生するスラストとバランスした状態で一定速度で航行している。一般的にいって、船の操縦性能は速度の影響をあまり受けない。それは舵に発生する力が、大凡、船の速度の自乗に比例するのに対し、船がある偏角をもつて旋回している場合の船体3分力も、やはり同様に速度の自乗に比例するからである。したがつて上記のような関係を成立させなくするようなもの、例えば、造波現象等の影響が現れない速度範囲(フルード数凡そ0.2以下)では、速度影響はないと考えてよい。つまり、推進器が正回転し定常的に前進している場合には、低速といえども、操縦性能は航海速度の時と本質的に何等異るところがない。だが、低速の場合には舵に発生する力の絶対値は急激に小さくなるのに対し、風とか波といった船の針路に攪乱を与えるもの大きさの方は、速度が低下したからといつて相対的に

小さくなる訳のものでもないで、結局、低速ではあて舵のきが悪く操船し難いという現象が現われるのであろう。これは Fig. 1 に示されるような形で理解される。強風下で低速操船する場合、操船不能になる条件についての研究は、すでに中島博士により青函連絡船について研究されており²⁾、その後、運輸技術研究所においても、小関・高石により実験的研究が行われている³⁾。

(2) 第二段階……前進中にプロペラを停止した場合である。船は惰力次第に速度を減しながら航行を続ける。このような場合には、たとえ速度が同じであつても前述のように推進器が正回転している場合に比べて操縦性能には大きな相違を生ずる、その第1の理由はプロペラ後流中に舵がある船ではプロペラ停止により舵の効きが大きく変ることである⁴⁾⁵⁾。舵への水の流入速度は、プロペラによる加速がなくなるため急激に

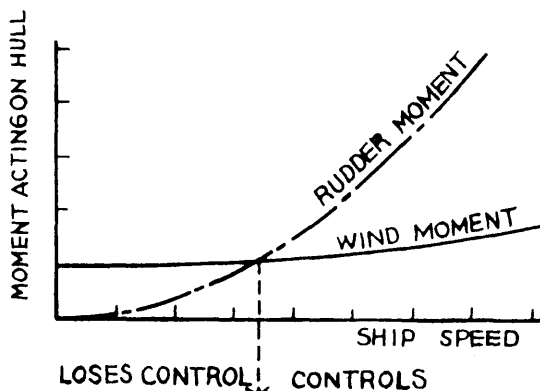


Fig. 1

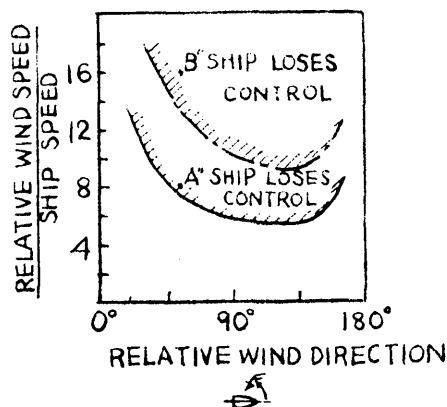


Fig. 2

小さくなり、しかも舵の直前にある停止したプロペラは、かえつて流入を阻害することにもなるであろう。つまり、プロペラ後流中にある舵を標準に考えれば、これらの理由により情行中はあたかも舵の面積がその数10パーセントの order 小さくなつたと同じことになる。したがつて、大舵角をとつたときの旋回性は低下し、また小舵角時の針路安定性も悪くなる。更にここで忘れてならないのは、プロペラの針路安定作用である。回転しているプロペラ軸を Yawing させると反力を生ずることが知られている。つまり回転している推進器は船にとつてはあたかも鰭のような作用を持ち、針路安定に寄与するものと考えてよい。したがつて、情航時、すなわちプロペラが停止した状態では、この作用がなくなるため当然針路安定性が悪くなることが考えられる。

以上2つの理由から、情航時は定常的に低速前進している場合に比べ、かなり操縦性能に相違があり、特に針路安定性に問題が生ずるであろうことは、容易に想像されるところである。

(3) 第3段階……プロペラが逆回転した場合である。この場合は細かく上に述べた(1)~(2)の段階に分けられる。まず、船はプロペラが逆転したにもかかわらず、惰力によりまだ前進を続けている状態である。次いで船の前進速度が次第に減じて来て船は殆んど停止状態になる。更にプロペラ後進がきいて来ると、今度は後進を始めるようになり、最後には定常的な後進運動に入る。プロペラ逆転時には、船が前進中か停止中か或は後進中かによつて決まる水流が舵に当るが、とくに前進運動中では逆転するプロペラによつて流れがさまたげられる。従つて、いずれの場合もかじに対する流速は小さい。そのうえ、プロペラが逆転すると船尾附近の船体に左右アンバランスな圧力が生じ船体に回頭モーメントを与えることが考えられる。舵の効きは、水の流入速度が小さいため非常に悪く、結局操縦性が悪くなる。なお、船体が後進している状態を考えると、上記のプロペラの作用を除外して考えても、その形状から云つて針路安定性がかなり悪い場合が多くもともと操縦不能に近いものが多いように思われる。

2. 模型船および実験方法

2-1 供試船

実験の対象に選ばれた船は海上保安庁の130 吨型巡視船「ひだか」であり、その主要目等は Table 1 にまた肋骨形状、船首尾形状は Fig. 3 に示すごとくで

Table 1 "HIDAKA" PRINCIPAL PARTICULARS

Length	L _{PP}	30.50 m	Coefficients	C _b	.477
	L _{WL}	32.00 m		C _p	.580
Breadth	B	6.30 m	KG	C _m	.759
	D	3.00 m		2.18 m	
Depth	D	3.00 m	GM	.91 m	
			OG	.48 m	
Displacement		158.97 tons	Natural period	4.99 sec	
	fore	d _f	1.30 m	Projected underwater	
Draft mean	d _m	1.70 m	area		47 m ²
	aft	d _a	2.10 m	Geometrical centre	1.01 m
Trim	τ	0.80 m	Rudder area	1.72 m ²	
Sea speed					

With Bilge Keels

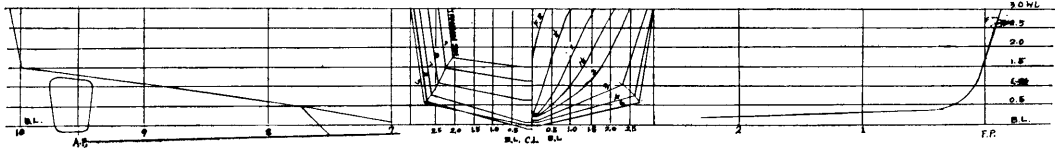


Fig. 3 Body plan and profiles of bow and stern

ある。舵面積は約 1.72 m² で船体の水中投影側面積との比は 1/27.36 である。またスケグの面積は約 1.2 m² で、その面積比は 1/39 である。実験は長さ 3.8 m、縮率 1/8.65 の自航模型船を用い、船舶技術研究所角水槽において行われた。模型船により操縦性能をしらべる場合、尺度影響についてはいろいろいわれているがまだ研究が進行中で決定的にはわかっていない。ただ今回これから述べる模型試験結果は、低速時および後進時の操縦性を定性的に云々したものであつて、この点については後に述べるように実船試験の結果と可成りよい一致を示していることからいつて、大きな尺度効果はないと考えてよい。

2-2 実験方法

前節の各定常状態を自航模型を用いた実験に於いて実現するため、プロペラの他に空気プロペラを推進手段とした。即ち、プロペラを停止すれば、自然に速度が減少する惰力航行の状態を、空気プロペラで船体を推進することによつて、一定速度に持続させ、その間に操舵に対する応答を調らべるのである。また操舵に対する応答といつても過渡的な回頭運動は実船との比較のほかは取扱わず、おもに定常旋回を調らべた。空気プロペラは船体の横運動になるべく影響を及ぼさないように船の旋回運動の Pivoting Point に近いと考えられる点に取付けた。船の運動は地上の 2 点からの観測による 2 秒毎の船の位置の記録によるほか、船内に方位ジャイロを積み、船の回頭角の記録によつても求めた。

(238)

さらに、自航模型船による実験結果を検討するため模型船を拘束し、プロペラ逆転による回頭モーメントの測定実験もおこなつた。この実験方法の詳細は付録に示してある。

3. 実験結果

3-1 低速航行および惰力航行時の操縦性

3-1-1 プロペラ作動の有無の影響

船がプロペラにより低速前進している場合の定常旋回試験結果を 3 種の速度について示したのが Fig. 4 であり、プロペラを止め空気プロペラにより前進している場合、即ち惰力前進時に相当する場合について同様の結果を示したのが Fig. 5 である。いずれも船の長さ L と旋回半径の比 L/R と舵角 δ との関係を示した図である。 L/R は無次元値で (ふつう r で表わされる) 丁度旋回回頭角速度に相当するものになる。したがつて舵角が大きな所で L/R が大きいのは、旋回性能が優れている証拠になる。一方小舵角では L/R が小さい方が、いわゆる船のすわりが良い訳で、この曲線の舵角 0° 付近における tangent が大きく、したがつて小舵角にもかかわらず L/R が大きいのは、たえず船がふらふらし、針路安定性があまり良くないことを示す。更に針路安定性が悪い船ではこの曲線が舵角 0° の付近でヒステリシス型の曲線を示すこともある。

Fig. 4, Fig. 5 と同、船の速度をいろいろ変えて実験を行つたが、速度影響はいずれの場合も有義には認

められない。すなわち、このようなごく低速の範囲でも、定常前進時、惰航時共に速度影響は考えなくとも良いことがわかった。従つて、これからの議論は、低速のある1点の速度について比較すればよいことになる。

さて、Fig. 4 と Fig. 5 とを一枚の図にまとめて比較したのが Fig. 6 である。この図から操縦性に対するプロペラ作動の有無の影響を認めることが出来る。即ち、プロペラを停止した場合は旋回力が小さくなるとともに、針路安定性も悪くなる。この理由の第1はプロペラ後流の有無による舵への水の流入速度の差である。その第2はプロペラの針路安定作用の有無である。後者の影響がどの程度のオーダーであるか明らかでないが、前者に関してはいくつかの研究がある。

なお、プロペラを停止した場合、遊転しないプロペラ翼が舵への水の流入をかえつて阻害し、ますます舵の有効度を減じているのではないかと思われたので、水中からプロペラを取り外した場合についても実験した。その結果を Fig. 6 の中に併記してある。これに

よれば、旋回力に対してはわずかの影響を、針路安定性に対してはかなりの影響を持つているようである。

上述のように、惰航時には針路安定性がかなり低下するから、狭い港に惰航しながら入港しようとする時など、ちよつとした風に吹かれるだけで、針路から大きくそれ、もとへもどそうとしても舵の効きが悪くてなかなかもどらないといった具体的な問題が出て来る可能性がある。ではこの船はどの程度針路安定性に不安があるのであろうか。かかる問題に関して判定を下すことは、かなり困難な問題であり、船の種類、大きさを始め、操船者の個人差にまで及ぶ複雑な問題である。ここでは、一応の目安を得るため Fig. 7 に、従来得られているいくつかの試験例の中で、肥瘠係数が大きく舵面積比が小さく、針路安定性が比較的良くないと言われている大型タンカーの操縦性能と比較して示してみた。推進器が回転しており、定常前進している時ですら、大凡大型タンカー並の針路安定性でありあまり良い方ではない。特に本船のような小型の船では、もつと針路安定性をよくしておく必要がある。

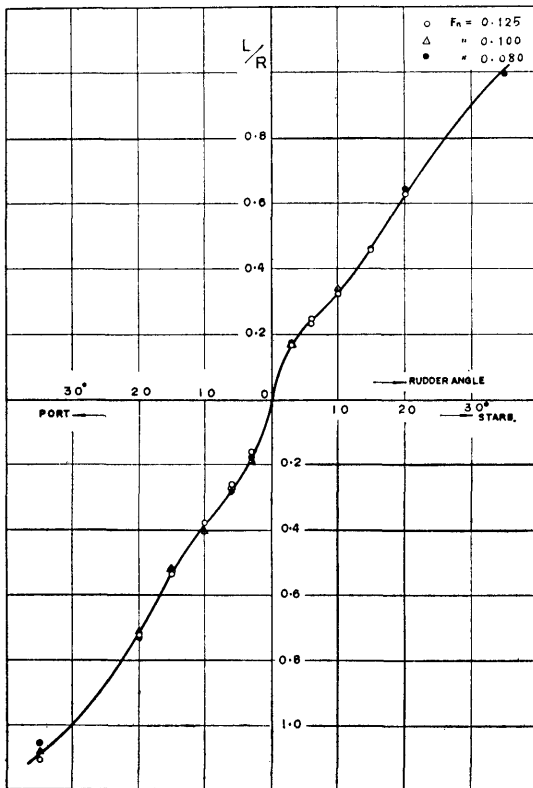


Fig. 4 $r-\delta$ curve advancing with screw

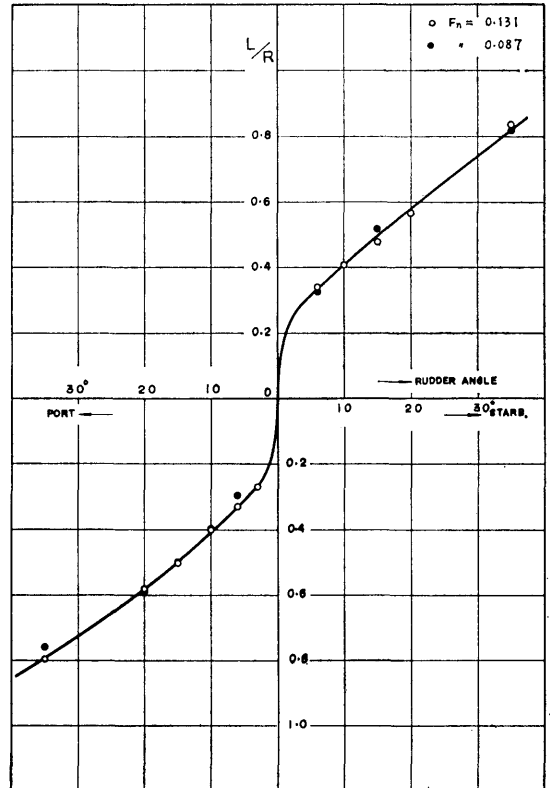


Fig. 5 $r-\delta$ curve advancing by inertia

惰航時は更に針路安定性が悪くなるから、本船のように、しばしば惰行で操船する必要のある船では、全体的に更に一段と針路安定性を改善しておく必要があろう。

3-1-2 かじ面積、スケグ面積の増加の影響

この船の惰航時における針路安定性は Fig. 7 に示すごとくかなり悪く殆んど針路不安定とのcriticalな状態にある。

針路安定性の改善策として考えられることは、舵面積およびスケグ面積の増加である。舵の面積を増加すると旋回性能、保針性能共に改善されるが、操舵機的能力の方から限度がある。一方、スケグの方はこうした制限がない代りに改善されるのは針路安定性のみで大舵角における旋回性の方は一般に犠牲にされる。したがって操舵機の馬力を大きくせず、旋回性能も悪くしないで針路安定性を向上させるには、舵面積スケグ面積共に適当に増してやるのが良いと思われる。

模型試験としては、先ず、スケグ面積をそのままにして舵面積だけを相似に50%増した場合(船体との

Clearance を一定にし舵軸はそのままの位置で装備)と舵面積はもと通りとしスケグの面積を Fig. 8 に示すように、約75%増した場合とを行つた。

試験の結果は Fig. 9 に示すごとくで、予想通り舵面積を増すと旋回性能、針路安定性能共に改善されることになり、特に、針路安定性能は、推進器をまわしている場合と同じ程度に改善される。またスケグ面積を増すと針路安定性能は良くなるが、大舵角における旋回性能の方は犠牲にされる。実際上の改善策としては、操舵機的能力上、舵面積50%増は少し無理があり一方、スケグ面積もプロペラ軸が出て来る関係上、あまり大きく出来ないから、今回の実験の中間、すなわち舵面積を20~30%程度大きくし、またスケグの方も50%程度増してやるのがよいのではないと思われる。この中間的な場合には、Fig. 9 で丁度、二つの実験から得られた曲線の中間に出て来るのが予想され、旋回性能を大体もと通りに保ちながら針路安定性を大巾に改善することができる。

3-2 プロペラ逆転時の操縦性

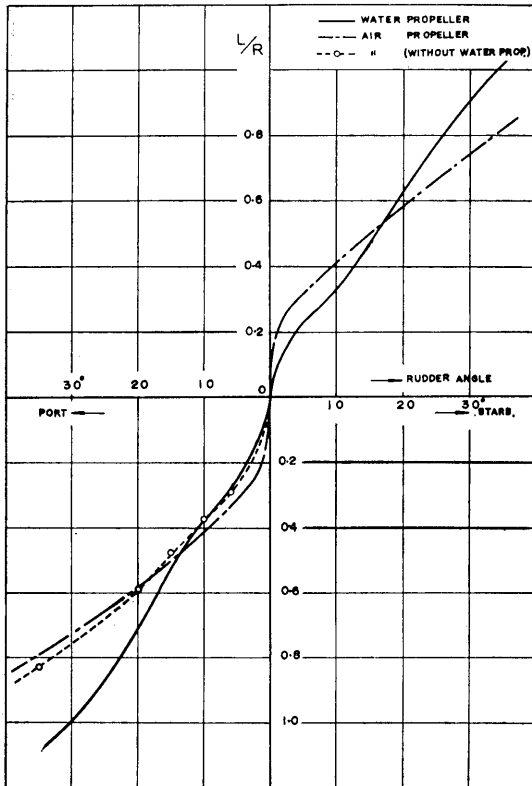


Fig. 6 Comparison of the $r-\delta$ curves between advancing with screw and by inertia

(240)

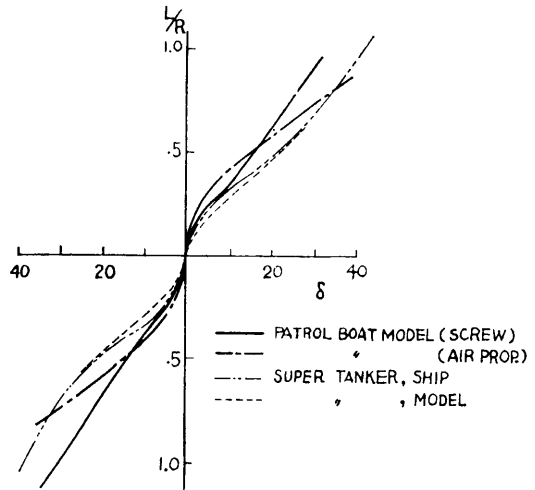


Fig. 7 Comparison of the $r-\delta$ curves between the patrol ship and a supertanker

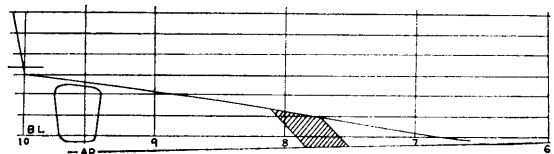


Fig. 8 Profile of the increased skeg

プロペラが逆転している場合の船の操縦性をしらべるには、前にも述べたように astern はかかつたが、船はまだ惰力で前進している場合、殆んど停止状態になつた場合、後進を始めた場合等の過渡状態をしらべる必要がある。

3-2-1 プロペラ逆転時の運動

Fig. 10 は、プロペラを逆方向に一定回転数でまわしながら、空気プロペラの回転数をいろいろ調整することにより、前述の各種運動状態を模型的に再現し、操舵等の操作を加えた場合の定常運動の軌跡を示したものである。また Fig. 11 は、同実験で回頭角速度を測定した結果を示したものである。

この図から次のことを知ることが出来る。すなわちプロペラを逆転させると船尾附近の船体圧力分布が左右でアンバランスになるため、船の運動がたとえ前進中であろうと後進中であろうと、常に一定方向の回頭モーメントを受ける。(右方向が正回転の推進器の場合には右回頭のモーメント)。一方、舵はプロペラの影

響を殆んど受けず、船の前後進の運動に従つて僅かに力を発生する程度である。プロペラ逆転による回頭モーメントを舵の力と比べた場合、前者の方が、はるかに大きく、したがつて船が前進中、停止中あるいは後進中の如何を問わず、プロペラが逆転を始めた瞬間から、船は常に一方方向に回頭を始めることになる。ただ船が前進あるいは後進運動をしている場合には、その速度に応じて僅かながらも舵は効くから、図に示すようなせまい範囲では操船可能である。プロペラが正回転している場合は、図中点線で示したように操縦し得る範囲は非常に広い。停止状態でプロペラだけが逆転している状態では、舵はとつても効かず、凡そ、同一回頭速度で回頭を続ける。舵をとらない場合、船の前進、停止、後進の如何にかかわらず、回頭角速度が等しいのは、プロペラの回頭モーメントが船の運動の影響を受けないことを示している。次項に示すように回頭モーメントは、プロペラの回転数だけによるものと考えてよい。したがつて、もし、回転数が上つたとす

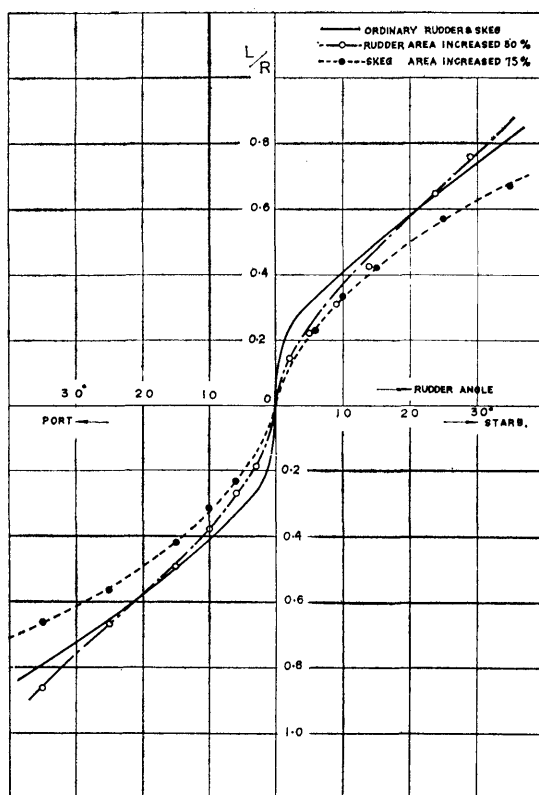


Fig. 9 r - δ curves advancing by inertia when the rudder or the skeg area is increased

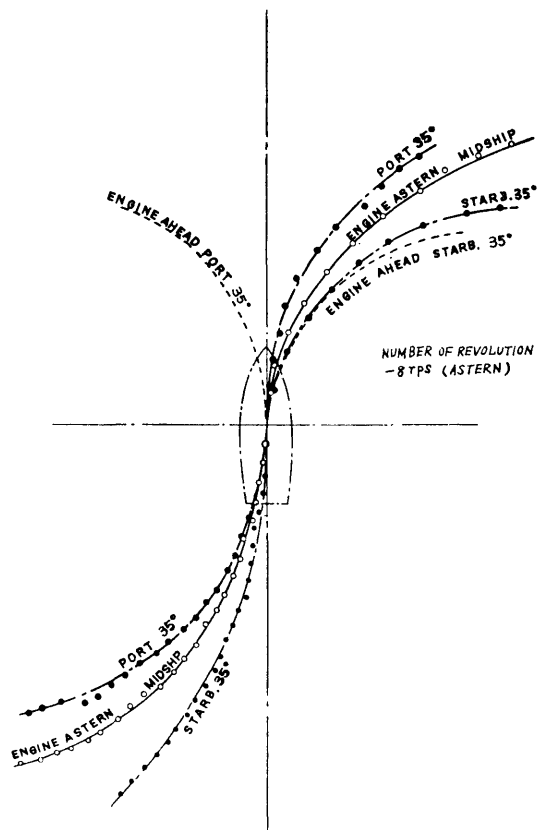


Fig. 10 Loculi of the ship with the screw turning astern

ると、それに応じ Fig. 11 の直線は上方に平行移動した形になり、また Fig. 10 では、もつと全体的に船の頭が右に振れたような形になるものと考えられる。

3-2-2 プロペラ逆転による回頭モーメント

前項で述べたように、プロペラを逆転させた場合の船の操縦運動は、プロペラによる回頭モーメントによつておもに支配されている。この回頭モーメントがどのようなものであるかを調べるため、模型船を固定停止させて船体にかかる2分力を測定した。実験の詳細は付録に於いて述べるが、実験の結果を Fig. 12 に示した。この図から

- イ) プロペラ正転時の操舵による回頭モーメント
- ロ) プロペラ逆転時の回頭モーメント

に関して、以下に述べるような事が判明した。即ち、船体が停止状態であつてもプロペラを正転させ、その後流をかじに当てることによつてほぼ舵角に比例してかなり大きい回頭モーメントをかじ取りの方向に得ることが出来ること、プロペラ逆転の場合は回頭モーメントは、かじと無関係にこの模型船では右舷回頭のみを与え、その大きさはプロペラ正転の場合右舷 8° 操

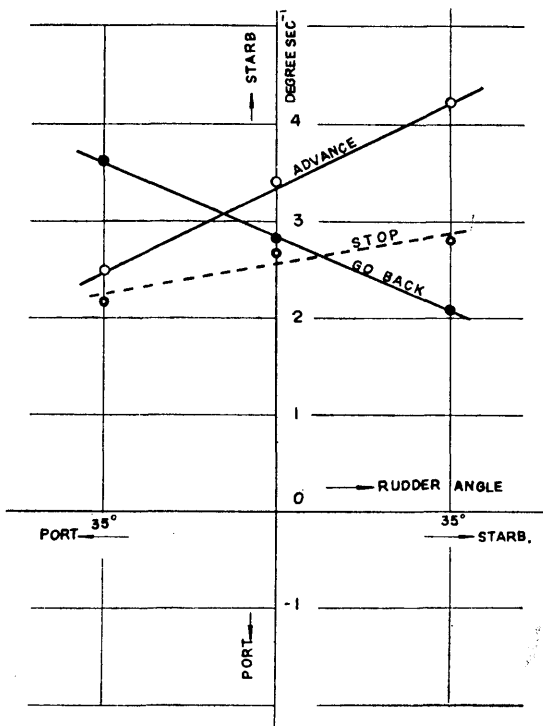


Fig. 11 Turning rate of the ship with the screw turning astern

(242)

舵したときのモーメントにはほぼ等しいこと、プロペラ正転逆転いづれの場合にも回頭モーメントは、プロペラ回転数の2乗にほぼ比例して変化すること、等である。

3-3 実船との比較

巡視船「ひだか」の操縦性について、海上保安庁船舶技術部が行つた実船試験の成績があるので、模型試験の結果と比較した。実船の試験は、Z試験、スパイラル試験、プロペラ停止又は逆転時の操舵応答測定など広範囲にわたつておこなわれているが、ここでは低速前進中(5ノット)の20°操舵に対する船の回頭応答だけについて比較した。Fig. 13 に s をベースにして回頭角変化を示している。 s は操舵発令後に船が進んだ距離(船が曲線上を進んでいるときはその曲線に沿つた距離) S が船の長さ L の何倍であるかを示す無次元の変数である。実船と模型とではプロペラの正回転方向が反対であることに留意して Fig. 13 を見ると実船試験の結果とかなり良い一致を示している。なお空気プロペラで前進している場合の回頭応答はプロペラで前進している場合に比してかなり悪いこともわかる。

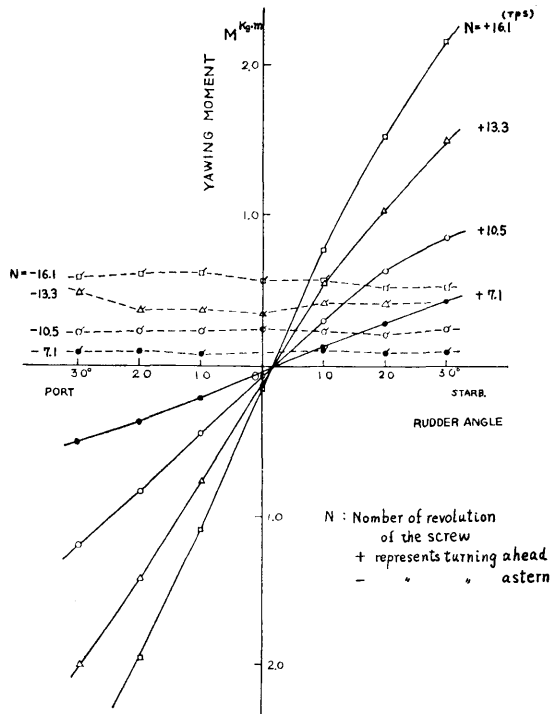


Fig. 12 Yawing moments on the halting ship given by the screw turning astern

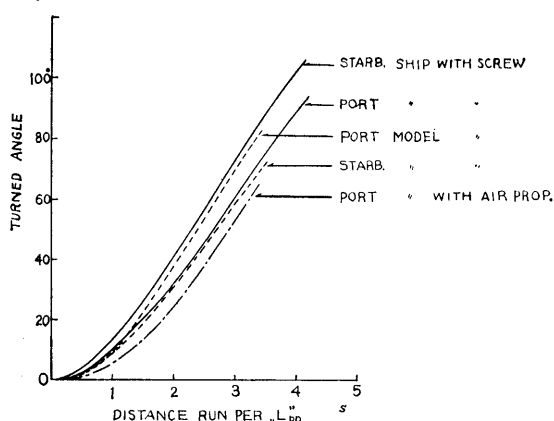


Fig.13 Comparison of the response to rudder between ship and model

4. むすび

前にも述べたように、船の低速および後進時の操縦性に関する研究は殆んど行われていない現状である。本研究はこの方面に一つの緒を開く意味で行われたものである。したがって、不完全な点も多く、なお、今後の研究に負わねばならない点も多々あるものと思われる。しかし、低速および後進時の操縦性に関する一般的な概念を得る意味では役に立つ点も多かるうと思われる。今回の実験から得られた結論は、以下のようである。

(1) プロペラが正回転しており（そのスラストとバランスした状態で）船が定常低速前進している場合の操縦性能は、前進速度によつて影響を受けない。

(2) プロペラは停止しているが、船はなお、惰力で前進を続けている場合の操縦性能は、上記(1)の場合とはかなり異つたものになる。すなわち、舵への水の流入速度が相当小さくなるため、舵効が悪くなり、大舵角での旋回性能が低下すると共に針路安定性の方も推進器による針路安定効果が消滅することと相俟つてかなり劣化する。

(3) 惰航時の針路安定性を改善するには、舵面積かスケグ面積を増してやればよい。しかし、スケグ面積を増すと大舵角における旋回性能を犠牲にすることになる。一方、舵面積を増すと大舵角での旋回性も同時に良くすることができる代りに、操舵機の容量を大きくする必要を生ずる。したがって旋回性をもと通りに保つたまま針路安定性を良くしようとするには、舵面

積、スケグ面積共に適当に増してやるのが最もよい。

(4) プロペラが逆転している場合には、船がなお惰航前進している状態、殆んど停止した状態、後進を始めた状態等、いろいろの過渡状態が考えられるが、これらいずれの状態を通じても、船の運動にかかわらず常に回転数の2乗に比例する一定の回頭モーメントがプロペラ逆転により生ずる。一方、舵の効きは、その時の船の運動の向き、速度により決るが、その値は、プロペラの回頭モーメントに比べて小さなものである。したがって船はプロペラを逆転した途端に一方方向に回頭を続けるようになり、舵により操船し得る領域が非常にせまい範囲に限られることになる。

5 模型と実船との間の対応については一般に大舵角の定常旋回径は良く合うとされているが、本実験では、操舵に対する過渡的な応答もよい一致を示している。また惰航時に於ける操舵に対する応答がプロペラ回転時に比べて相当悪いことが確かめられた。

付 記

本研究は、海上保安庁130トン「ひだか」型巡視船の惰航時および後進時の操縦性能に関し問題が提起されたことに端を発している。従つて、模型試験を実施するに当つて、海上保安庁船舶技術部との密接な協力がなされた。ここに田坂技術課長はじめ関係された同庁船舶技術部の方々に深く感謝の意を表明すると共に、特に模型試験に直接協力していただいた同部の国部専門官（当時）小林、矢野、両氏に厚くお礼を申し上げる次第である。

なお、本研究の一部は日立造船株式会社からの受託試験として行われた。

参 考 文 献

- 1) Y. Yamanouchi "A Proposal of Research on Manoeuvrability at Low Speed or at Unstationary Condition of Motion" A Collection of Papers submitted by Dr. Matora, 10 th ITTC Formal Contribution on Manoeuvrability, 1963
- 2) 中島康吉 "鉄道連絡船の操縦性能に及ぼす風の影響について" 造船協会論文集 84号
- 3) 小関信篤, 高石敬史 "低速時の方向安定に関する一模型実験" 運輸技術研究所研究発表会 1958年11月

- 4) 岡田正次郎 “舵の流体力学的研究” 造船協会論文 文集 103号, 104号
- 5) 志波久光 “模型試験による舵の研究” 造船協会論文 文集 106号

付 録

停止した船体に加わるプロペラと
舵による回頭モーメントの測定

模型を Fig. A-1 に示すように、水槽台車に固定する。固定点はA, B 2点であり、先ずA点において船が回頭運動に何らの拘束を受けない様に、たてのベアリングを介して固定し、B点においてA点を中心とする回頭モーメントによる横方向力 F_B を測定する。次にA点とB点とを交換しA点において、B点のまわりの回頭モーメントによる横方向力 F_A を測定する。そうするとA, B 両点の中央にある重心点（ここでは Midship をとつた）Oのまわりの回頭モーメントM, 横方向力F圧力中心のO点からの距離 x は次式で求まる。

$$M = xF = \frac{l}{2} (F_A + F_B)$$

$$F = F_A - F_B$$

$$x = \frac{l}{2} \frac{F_A + F_B}{F_A - F_B}$$

F_A, F_B の力の測定は Fig. A-2 に示すような平行板ばねと差動トランスを組合わせたピックアップを用いた。

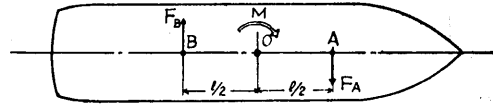


Fig. A-1

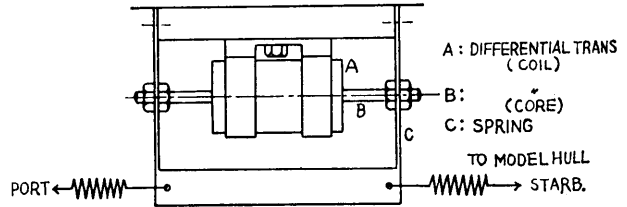


Fig. A-2 Pick-up to measure side force and moment of the ship