

漁船船型の特異な操縦性能とその 改善について

正員 仲 渡 道 夫* 正員 小 瀬 邦 治*
正員 長谷川 和 彦* 正員 多 田 納 久 義**

On Unusual Phenomenon in Manoeuvrability and its Successful
Countermeasure of a Fishery Research Vessel

by Michio Nakato, *Member* Kuniji Kose, *Member*
Kazuhiko Hasegawa, *Member* Hisayoshi Tatano, *Member*

Summary

These days we sometimes have experienced or heard of full-bodied ships with so-called "unusual phenomena" in manoeuvrability, and the number of those ships seems to increase rapidly owing to the growing fullness of ships.

Herewith in this paper an example of such a phenomenon appeared in a fishery research vessel is dealt. Turning tests and zig-zag tests were held, using both the ship and the 1/10 scale model. Oblique towing tests, β -varying tests (changing drift angle gradually) and observation of the stern flow, furthermore, were held in a towing tank using the model.

Those experiments certify the existence of two separate flow fields around the hull and the occurrence of switching the two states. The large clearance above the propeller and the rudder as well as the full stern form permits the flow passing from starboard to port or vice versa through the clearance. By this flow, two types of unsymmetrical flow separation may occur. The alteration of the flow direction through the clearance accompanies the changes in the separation, the flow field and the force acting on the hull.

Basic characteristics of the "unusual phenomena" observed both in the ship and the model can be explained by the unsymmetrical separation and its alteration. The apparent difference between the ship and the model can be also treated by the conception of "switching line". The "switching line" is defined as the critical state of motion at which the alteration of the flow occurs.

In consideration of those experiments, a center fin shutting the clearance was adapted to both the ship and the model. The results are fully satisfactory. In model tests the unsymmetrical separation is no longer observed. Therefore, the course stability recovers almost completely and the ship can keep the course without any difficulty.

1 緒 言

漁船は苛酷な海象下で復原性を保持したり、漁労作業をするため一般に甲板面積が広く、他船型に比べて L/B も小さい。さらに漁船では漁槽容積の確保のため機関室などをできるだけ後方に配置する傾向があり、 C_B が小さくとも船体後半部が局所的にかなり肥大している例が多い。

このような漁船のなかには、いわゆる異常現象と総称されている特異な操縦性能をもつものが少なくない⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾⁾。

本研究では小舵角操舵時に“ふらつき現象”を現わす、

ある漁業調査船の特異な操縦性能を実船と模型船で詳しく調べ、簡単かつ有効な改善策を見出した。そこでこれを実船に適用したところ、非常に良い結果が得られたので報告する。

操縦性の特異な挙動とはこの船の場合、自由航走時に二つの異なった定常旋回特性を表わすことで、これはZ試験のときにも現われ、実船、模型船を問わない。ここではこの特異な挙動を“船の同一の運動状態に対する二種の流場の存在”として説明を試みる。

2 供試船とその特徴

供試船は Table 1 のような主要目をもつ漁業調査船である。 $L/B=4.63$ でやや小さめではあるが、漁船船

* 広島大学工学部

** 大阪大学工学部

Table 1 Principal particulars of ship and model

	SHIP		MODEL
	original	with fin	free running & PHM tests
LPP x B x D (m)	27.8x6.00x3.00		2.78x0.6x0.4
dm (m)	2.55	2.50	0.2658
df (m)	1.71	1.61	0.2168
da (m)	1.39	1.38	0.3168
Ca	0.638*		0.638
Δ (t)	272.80		0.26615
Ar/Ld	1/27.8		1/27.8
V (m ³)	5.04*		1.30
Propeller Diameter (mm)	1600		160
Z	3		4
Pitch (angle) (mm)	960 (15°):CPP		96
N (r/min)	370		890

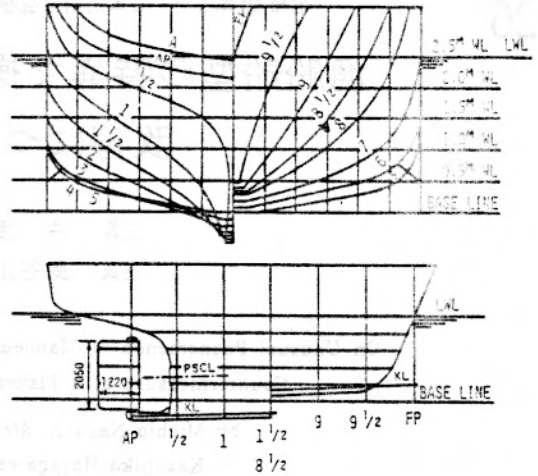


Fig. 1 Body plan and profile of ship

型としてはごく普通の要目といってよい。

Fig.1はこの船の線図を示す。この線図の特徴は、機関室をやや強引に後方に移したために船尾が肥大化していることであろう。とくにプロペラの前上方部の肥大は著しく、2.0mWLあたりの収まる角度は大きい。

また舵およびプロペラ上方のクリアランスが大きく、その上部のフレームラインはほとんど水平になっている。

3 自航操縦性試験結果とこの船の特性

実船試験は Table 1 に示すような状態で行なった。1/10 縮尺模型船での試験は計画吃水で実施しているのを実船の方がやや船尾トリムが大きくなっている。

実船の旋回特性が Fig.2 に示す。この船は大舵角旋回

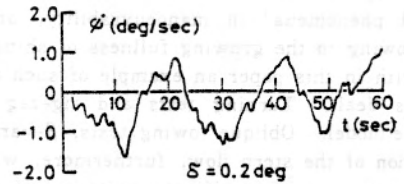


Fig. 3 An example from turning test (original ship)

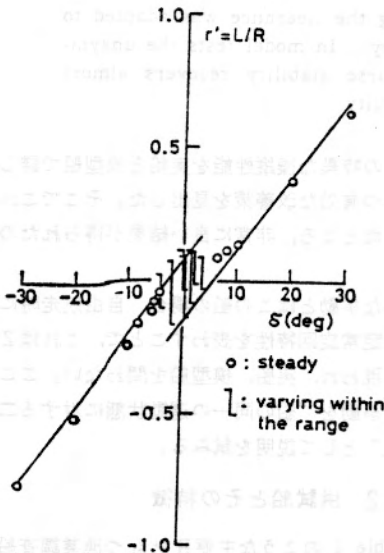


Fig. 2 Result of turning test (ship)

においては十分に針路安定であるが、小舵角旋回の場合、おかしな挙動をしている。たとえば舵角を 0.2° に保ったときの旋回運動の記録例 Fig.3 をみると、あたかも左右交互に一定の小舵角をとったときの運動のようになっており、船体に作用している流体力が階段的に変化していることを示している。

模型船の試験状態を Table 1 に、得られた旋回特性を Fig.4 に示す。この場合、旋回特性はほぼ二つの線に分かれ、両者のくい違い量は舵角に換算して約 10° ある。ただし、一つの舵角で二つの旋回状態があるといっても、その現われ方や持続しやすさには違いがあり、この違いは続いて switching line の概念を用いて説明する。後述するフィン付の実験結果 (Fig.10) に併記している無次元表示の旋回特性は、持続しやすい方の特性である。

実船と模型船の旋回試験結果を対比すると、同一旋回状態で船体に作用している流体力に二つの値があるという基本的な特性は一致しているが、見かけの特性は多少異なっている。すなわち実船ではある程度以上の舵角をとったときには一つの特性に落ち着いていること、また小舵角の場合、実船では自励発振状の運動が起こっているのに対し、模型船では安定した定常旋回状態が二つあ

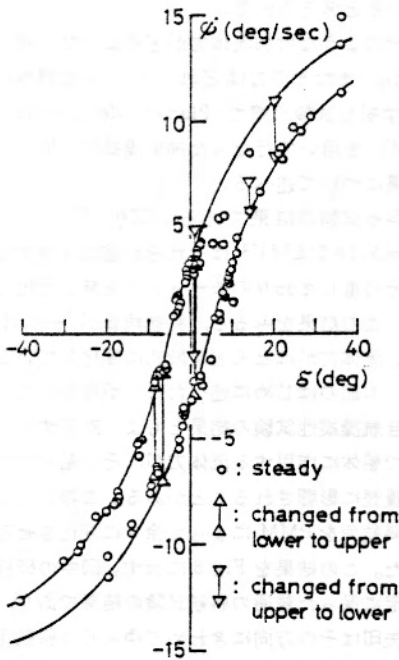


Fig. 4 Result of turning tests (model)

この相違を Fig. 5 の概念図によって説明を試みる。図中の実線はこの船の特徴である二つの旋回特性を示す。他方、破線で示す switching line はそれぞれの舵角のもとで回頭運動がその強さ（本図では回頭角速度、正確には船尾部のみかけの横流れ角を指標とすべきであろう）に達するとそれまでの流場がもう一つの他の流場に交替するところを示す。

小舵角時の実船では switching line が旋回特性の内側にあるから、どちらの定常旋回にも達しないまま、switching line の間で自動発振する。Fig. 2 に示した小舵角時の旋回運動の変動幅は switching line の幅を表わしていることになる。舵角が大きいところでは、

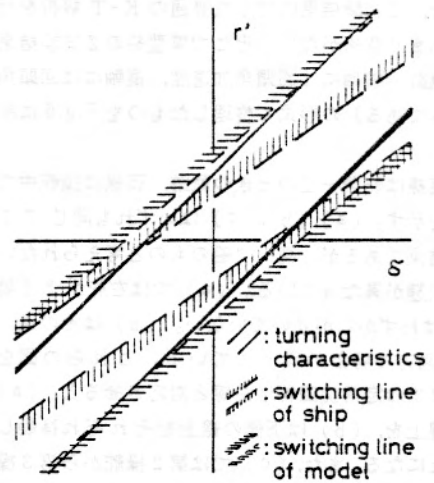


Fig. 5 Sketch of turning characteristics and "switching line"

switching line はそれぞれの旋回特性をはさむから、一つの旋回特性だけが現われる。

他方、模型船では中程度の舵角までは switching line が旋回特性の外側にあり、二つの定常旋回状態が存在する。しかし、大舵角では一つの船回特性と switching line が近接するか、あるいは交っているようで、船はほぼこの定常旋回状態に達した後、もう一つの定常旋回に転ずるといふ現象がある。

switching line は後述する船尾部の非対称剥離の交代する条件を暗に念頭に置いて立てた仮説である。したがって実船と模型船とで switching line の勾配や2本の line の幅が多少異なることは、レイノルズ数の相違などから十分考えられることで、実船でも模型船でも、この船の旋回特性の基本的性質（同一の旋回状態で船体に作用している流体力に二つの値がある）には変りないといえる。

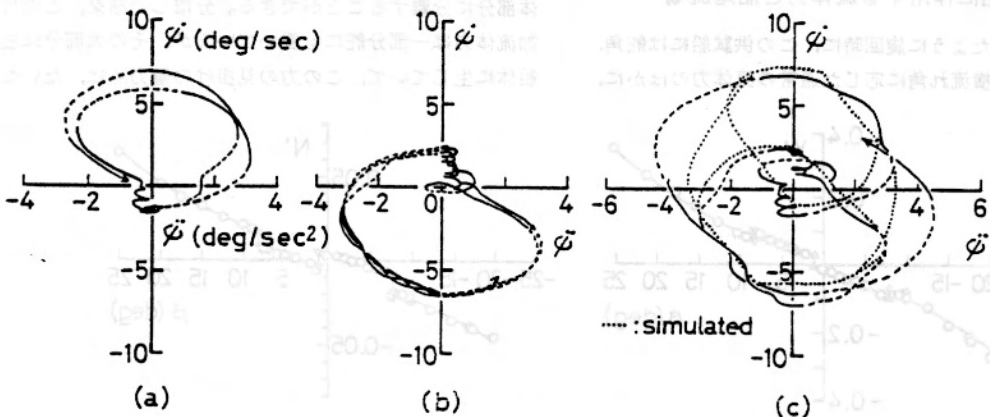


Fig. 6 $\dot{\psi}$ - $\ddot{\psi}$ phase planes of zig-zag tests (model)

次にZ試験結果について述べる。この船のような性能をもつ場合、Z試験結果に対して普通のK-T解析を行なってもあまり意味がない。そこで模型船のZ試験結果を位相面軌跡(横軸には回頭角加速度、縦軸には回頭角速度をとってある)の形式で整理したものをFig.6に示す。

図中、実線は舵角一定のときの軌跡、破線は操舵中であることを示す。(a),(b),(c)はいずれも同じ7.5°Z試験の結果であるが、同一の船のものと考えられないほど運動状態が異なっている。(a)では右舵がよく効き、左舵はわずかししか効いていない。(b)はその逆、(c)には両方の場合が現われている。これらの図をFig.4の2本の定常旋回特性曲線と対応させると、(a)は上側の線上を、(b)は下側の線上をそれぞれ移動していることになる。また、(c)では第2操舵から第3操舵への切り換え時にFig.4の上側の線から下側の線に移り、その結果(a)と(b)を重ねたような軌跡を描いている。

さて、このような旋回特性をもつ船の運動を記述する場合、通常の船がもつ旋回抵抗のほか、ある一定の旋回抵抗が加わっていると近似的に考え、これを舵角に換算した形(δ_a)で表現すると運動方程式は次の形で記せる。

$$T\ddot{\psi} + \dot{\psi} = K(\delta \pm \delta_a)$$

この式を前記試験結果にあてはめ、常数を求めると、次の値をうる³⁾。

$$T=1.77 \text{ sec}, K=0.71 \text{ 1/sec}, \delta_a=5^\circ$$

Fig.6(c)中の点線はこの式で近似される運動軌跡であるが実際とよく一致している。この式が定常旋回特性をうまく表現していることはいうまでもない。

以上の諸結果から、本船の操縦性能は元良らの提案している異常現象の仮説的モデルのうち“原点を中心とした異常モーメントを持つ系”に該当するといえよう³⁾。

4 船に作用する流体力と船尾流場

前節で述べたように旋回時に、この供試船には舵角、旋回角速度、横流れ角に応じた通常の流体力のほかに、

舵角や回頭角速度によらず、ほとんど一定の付加流体力が作用していると考えられる。

本節ではそのような付加流体力がどのような流場によって生ずるか、またその力はどれぐらいかを調べるため、広島大学船型試験水槽でPlanar Motion Mechanism (PMM)を用いて行なった拘束操縦性試験と船尾流場観測結果について述べる。

Fig.7は斜航試験の結果である。図中 $Y' = Y/(\rho/2)LdV^2$ 、 $N' = N/(\rho/2)L^2dV^2$ はそれぞれ船に作用する横方向の力とその重心まわりのモーメントを無次元化したものである。この結果をみると、斜航角 β が $-8^\circ, 1^\circ, +8^\circ$ 付近で、流体力がほとんど階段的に変化していることがわかり、本節のはじめに述べたことが現われているし、前節の自航操縦性試験の結果ともよく対応する。

ある時点で船体に作用する流体力が、その船のそれまでの運動の履歴に影響されることがある。このことを調べるため、斜航角をPMMによって徐々に変化させる試験を実施した。この結果をFig.8に示す。図中の破線は斜航角を一定に保った普通の斜航試験の結果であり、実線につけた矢印はその方向にきわめてゆっくり斜航角を変化($\omega \approx 0.5 \text{ deg/sec}$)させたことを示す。

この結果から斜航角が 10° 以内では、二つの値の流体力が存在することがわかる。斜航角一定の試験で各斜航角に対して一方の流体力しか計測されなかったのは、あらかじめ斜航角をセットしたという運動の与え方のためである。ただし、流体力が二つの値をとりうるとしても、その発生しやすさには差があり、斜航角一定の試験で得られる値は発生しやすい方の値であろう。

左右の斜航角が $10^\circ \sim 12^\circ$ になると、いずれも流体力は一方の値に落ちつく。

さて、この付加流体力は船体に働いているのであろうか、舵に働いているのであろうか。今回の斜航試験では、舵直圧力をも計測しているから、船全体に作用している横方向の力とモーメントを舵の部分とそれ以外の船体部分に分離することができる。分離した結果、この付加流体力は一部分舵にも働いているが、その大部分は主船体に生じていて、この力の見掛けの着点点は、だいた

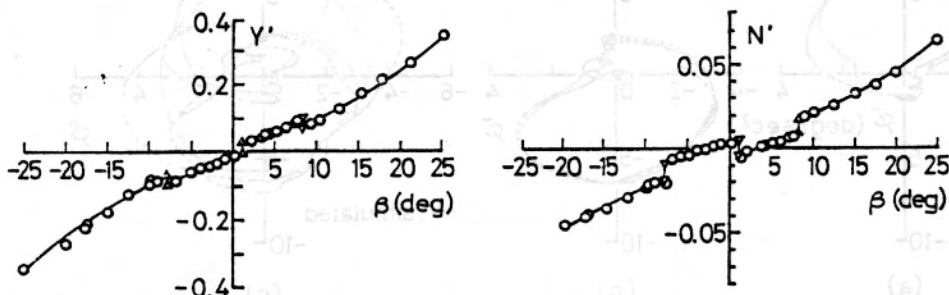
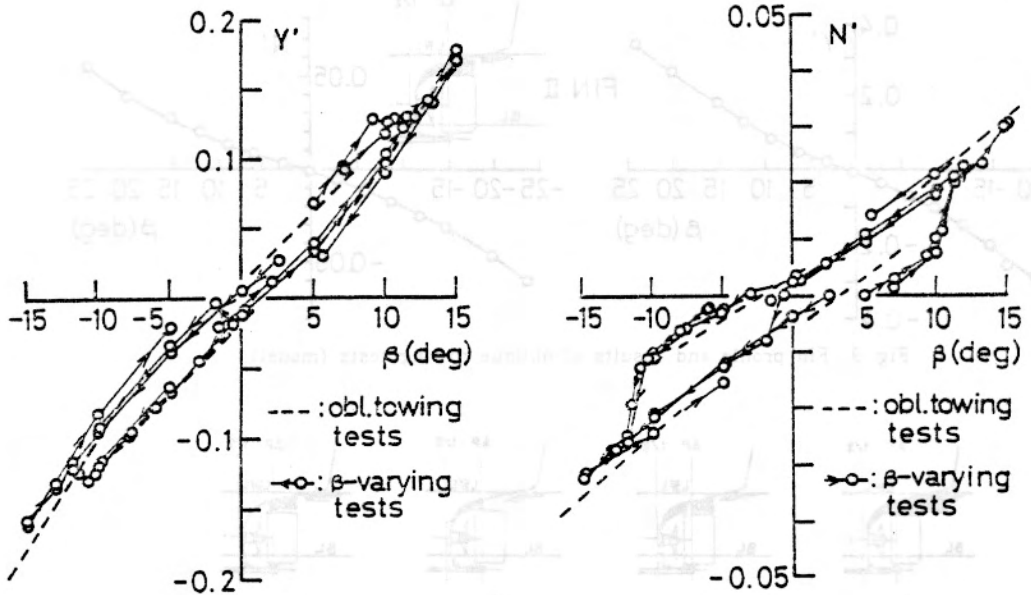


Fig. 7 Result of oblique towing tests (model)

Fig. 8 Results of β -varying tests (model)

い A.P. であることがわかった。

以上の諸試験では、舵角はすべて零に保ったままである。後述する流れの状態から考えて、流体力が階段的に変る斜航角の値は舵角によっても当然異なるはずである。

このような付加流体力を発生させる流場はどのようになっているかを調べるために、船尾流場の観測を行なった。流場の可視化は主として空気泡をトレーサとして用い、タフトを補助的につけた。空気泡は浮力のために上昇する欠点があるが、流速が速い場合に比較的小さな空気泡を使用すれば、注入の容易さ、水槽を汚さないことなど利点が多い。

流場観測によって、この船型には船尾部で明らかに非対称剥離が生じていることが確認された。普通のやせた船の船尾には、舵やプロペラにより両舵側からの流れはほとんどセンターライン上で合流して船から流れ去るが、この船の場合、流れの一部は舵およびプロペラ上部の間隙を通過して横方向に左舷から右舷に、あるいは右舷から左舷に流れる。この流れがあるため、流れ込む側の流れは全体にスムーズになっているが、流れ込まれる側には渦を伴う剥離した流れが生ずる。

斜航角変化に対するこの流れの様子をもう少し詳しく記すと、たとえば、斜航角を右 4° から徐々に大きくしていくとき、まず β が 4° から 9° 付近までは左舷船尾 (face 側) に大きな剥離ができる。この時右舷 (back 側) 上部の水流の一部がプロペラと舵の上部の間隙を通過して左舷 (face 側) に流れ込む。しかし、 β が $10^\circ \sim 12^\circ$ 付近になると、突然プロペラや舵の上部の横方向の流れ

の方向が逆転し、左舷より右舷へ流れる。これらの流れの様はその critical な斜航角付近以外のところでは多少斜航角を変えても保持される。そして、もちろん、この急激な流れの交替と同時に、船に作用する流体力は Fig. 8 に見られるように階段的に変化する。

Fig. 1 の本船の線図をみると、s. s. 1/2 の 2m WL 付近が目立って肥えていて、この部分の流れが剥離する可能性は考えられるが、たとえ剥離が起こってもそれが左右舷対称に生じたならば、横方向の力は発生せず、操縦性能にはあまり関係しない。この船のようにアパーチャーの間隙を通る横方向の流れが、比較的大きな非対称剥離を誘起することが問題なのである。なお、斜航角が多少変化しても、この非対称剥離があまり変化しないことは、付加的流体力がほぼ一定値を取ることに関連していると思われる。

いま問題としている横方向の流れの突然の交代、あるいは交代の阻止などは、操舵やプロペラ荷重度によっても現象が左右されることは観察されたが、当面の目的を優先したため定量的には調べていない。

5 改善策としてのセンターフィンの効果

これまで述べた各種の実験的検討を通じて、この船の操縦性能改善策はだいたいわかってきたといえる。根本的な改善策は船尾肥大度やフレームライン形状を変更することであろうが、いまは船型自体はそのままとし、船体に適当なフィンを取りつけることが実際的である。そこでプロペラおよび舵の上部の間隙を通る横方向の流れをセンターフィンで遮断することにした。こうすると船

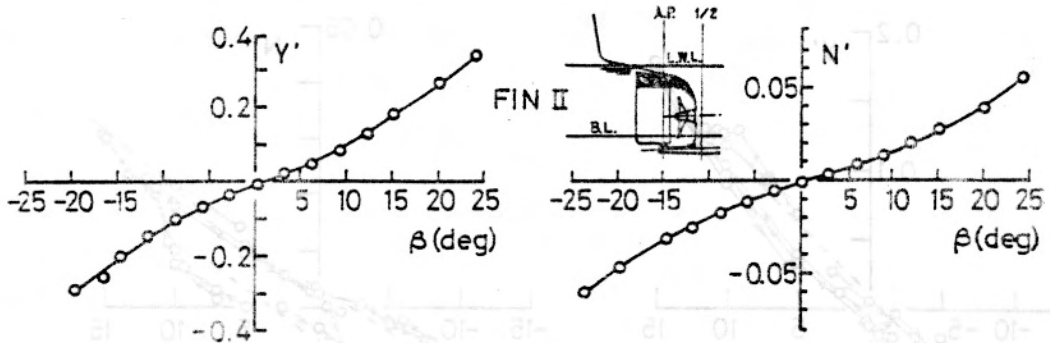


Fig. 9 Fin profile and results of oblique towing tests (model)

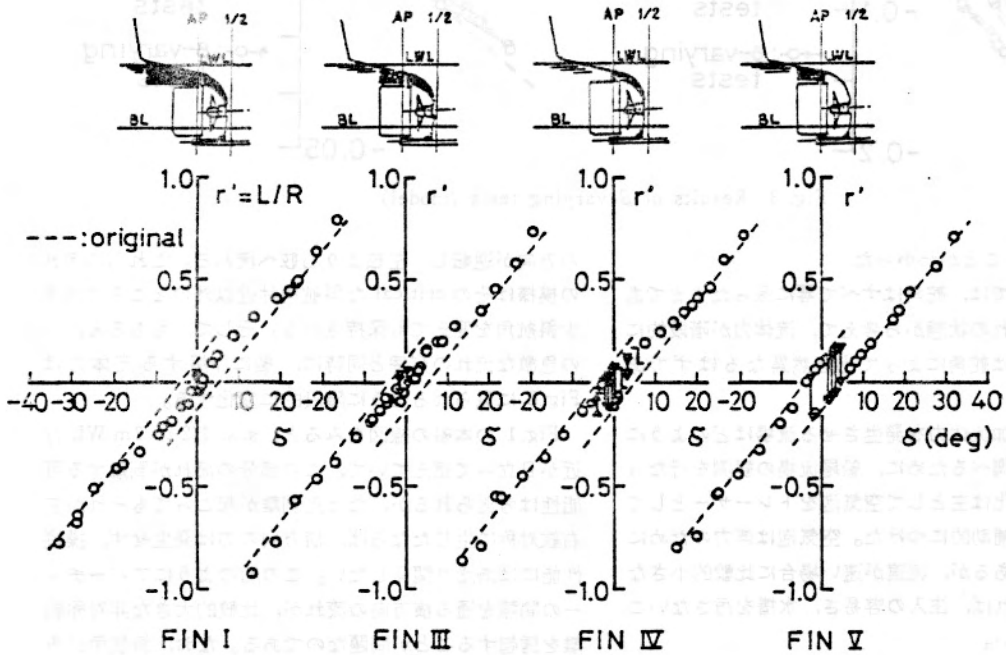


Fig. 10 Fin profiles and each result of turning tests (model)

尾左右舷に死水域は生ずるかもしれないが、問題となる非対称剥離はなくなるか、少なくとも弱まるであろうと考えた。Fig. 9 にこのようなセンターフィンの一例を示す。このフィンはプロペラ上部の間隙をできるだけ塞ぎ、かつ舵面積を上方に増加させて舵上方の間隙をなくしたものである。

このフィンをつけた模型船による斜航試験、流場観測の結果は予想どおり、非対称剥離は消滅するとともに、斜航時に船体に働く力は Fig. 9 のように一つの値に落ち着くというものであった。

そこで、実船に取り付けるべきセンターフィンの形状を定めるため、面積、取付け位置を変えたフィンを模型船に取り付け、自由航走試験（主として旋回試験）を実施した結果を Fig. 10 に示す。大きなフィン（フィン I）

でセンターライン上の間隙を船尾まで完全に塞いだ場合、旋回特性はほとんど一つに定まっている。

フィン II とフィン III はその閉塞面積は同じであるが、II は舵面積を大きくしたもの、III は船体に取り付けたものである。フィン III の場合、微小運動時の旋回特性には多少のばらつきがあるが、実用的な対策としての効果はこれで十分といえる結果になっている。

フィン IV ~ V はプロペラ上部を塞ぐのと、舵の上部を塞ぐのとは、どちらがより効果的であるかを比較したものである。結論的には、両方の間隙を塞がなければ改善策としては不十分であること、しかしプロペラ上部を塞ぐことの方がより重要であることが判った。

以上の結果から総合的に判断して、実船にはフィン III を取り付けることとした。なお、フィンを取り付けるこ

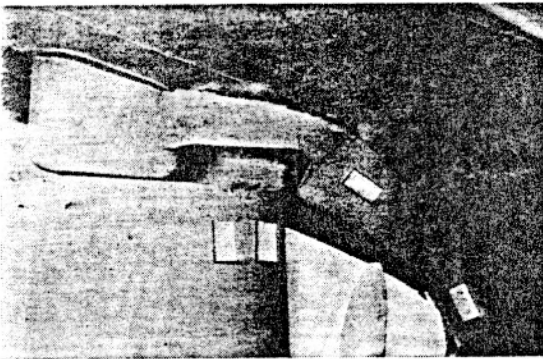


Fig. 11 Fin profile of ship

とによる抵抗増加を調べるため、抵抗試験を行なったところ、フィンをつけても全抵抗はほとんど以前と変わらなかった。実船にフィンを取り付けた様子を Fig.11 に示す。

フィンⅢをつけて改善策を施した後の実船試験は Table 1 の状態で実施し、その結果得られた旋回特性を元の特性とともに Fig.12 に示す。これを見ると旋回特性は実際問題ないまでに改善され、 10° 以内の舵角におけるいわゆる“ふらつき現象”は消滅している。実際に船長はじめ操船者から“これで安心して運航できるようになった”という感想が聞かれた。なお、微小舵角における実験点の多少のばらつきは、フィンⅢをつけた模型船のときと同程度である。また、このとき行なったZ試験を通常の K-T 解折した結果は、通常の針路安定船に見られるものであった。

実船のプロペラチップの通る近傍に、フィンなどを取り付けると往々にして激しい船体振動を発生することがあるため、今回もフィンの断面形状やその隅部の仕上げには工事の際にできるだけ種々の注意を払った結果、幸にも振動は元の状態とほとんど変わらなかった。

6 結 論

いわゆる操縦性における異常現象の名で呼ばれている特異な“ふらつき現象”を示す漁船船型の操縦性、ことにその“ふらつき”の原因について、いろいろな実験を行なってこれを明らかにした。また実船に対する改善策を模型による実験から考察し、それが実際に採用された結果、所期の目的を果した。

本研究のプロセスにおいて得られた主な知見を整理すると次のとおりである。

- 1) この船型の異常な操縦運動の特徴は通常の船体に働く流体力のほかに、回頭角速度によらずほぼ一定の大きさの付加的な流体力の作用によって説明できる。
- 2) この付加的な流体力は、肥大した船尾においてプロペラや舵の上部の比較的大きな間隙を通る流れによっ

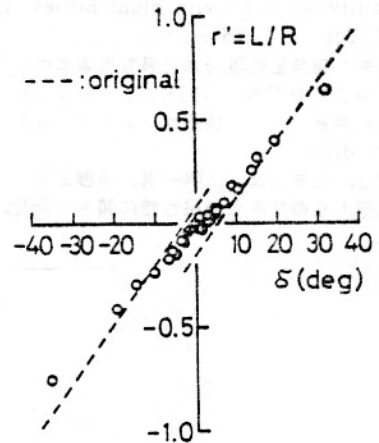


Fig. 12 Result of turning tests (ship with fin)

て誘起される非対称剥離とその主船体に及ぼす影響によって生じる。

3) この種の性能の船に対しては、今回のようなセンターフィンを付けることが改善策として有効である。

筆者らの見聞するところ、この種の“ふらつき”を示す漁船は必ずしも少なくないようで、本稿で述べた対策がそれらの船に役立てば幸いである。

また、今後の課題としてはこの船の性能と大型肥大船に現われる異常現象との関連（同じ現象の生じた大型肥大船の例を別途報告する予定である）、さらに推進抵抗関係で問題とされている肥大船尾でのスラストの不安定現象との関連などを研究しなければならないと考えている。

最後に、本研究の実施にあたって御協力いただいた方々に心から御礼申し上げる。

実船実験あるいは模型船製作に御協力いただいた水産庁の各位、ことに土屋 孟、斎藤宗明、安井達夫、田村和一の各氏に、自航操縦性試験の実施にあたり施設の利用を快諾された大阪大学 野本謙作教授、設計学の立場から有益な討論をいただいた広島大学 原田久明教授、フィンの装着とその効果確認の実船試験に協力していただいた金指造船所 石津正久、神代顕明、両氏ほか関係各位に、深く感謝するしだいである。

また、模型船による実験に協力された広島大学工学部 平尾三郎技官、卒業研究などでこの研究に参加し、実験を担当した大阪大学大学院 島村好秀、広島大学大学院 川吉 明、吉川正嗣の各氏、広島大学工学部 竹田隆一、池田弘保の両君にも重ねて謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) K. Nomoto: Unusual Scale Effect on Mano-

- euvrability of Ships with Blunt Bodies, 11th JTTC, Tokyo, (1966).
- 2) 小山健夫：鮪漁船に現われた異常現象について，JTTC 第二部会資料，(1968).
 - 3) 日本造船学会：第二回操縦性シンポジウムテキスト，(1970).
 - 4) 小瀬邦治，松井志郎，川隅一道，仲渡道夫，山崎芳嗣：肥大船の特異な操縦性能に関する研究，西部造船学会会報，第54号，(1977)，p. 203~215.
 - 5) 野本謙作，小瀬邦治，芳村康男：Z試験の新しい解析法，日本造船学会論文集，第134号，(1973) p. 183~192.
 - 6) 元良誠三，高木又男，国米昭久，加藤洋治，小山健夫：異常現象を伴う船の操縦性の一解析，日本造船学会論文集，第128号，(1970)，p. 153~166.