

肥大船の特異な操縦性能に関する研究

第三報 船尾の配置と流場

正員	小	瀬	邦	治*
正員	長	谷	川	和彦*
正員	仲	渡	道	夫*
正員	山	崎	芳	嗣**
正員	川	吉		明***

Study on the Unusual Manoeuvring Characteristics of Full-Bodied Ships (3rd Report)

— On the Flow Field at the Stern —

by Kuniji KOSE, *Member*
Kazuhiko HASEGAWA, *Member*
Michio NAKATO, *Member*
Yoshitsugu YAMAZAKI, *Member*
Akira KAWAYOSHI, *Member*

Summary

In the first report¹⁾, the unusual phenomena appeared on the two full-bodied ship models are investigated. Although both models are ore-carriers with similar ship form, one of them shows the unusual phenomenon more typically and radically.

To investigate the unusual phenomenon more deeply, two ways of approach were done using this model.

First, as described in the second report²⁾, the full-scale trial was performed and it is found that the unusual phenomenon also appears on the actual ship as well as on its model ship.

In this paper as the second approach, the captive model tests were again carried out aiming at the investigation of the stern flow field and the effect of propeller or rudder on the phenomenon. In the result, following conclusions are derived:

- 1) The unusual phenomenon is caused by the unusual (additional) hydrodynamic force acting on the stern.
- 2) This force is induced by the large flow separation which occurs either starboard or port side of the stern (see Figs. 1, 2 and 3).
- 3) This separation is produced only when the propeller is rotating, and its rotating direction is secondary importance for the separation.
- 4) The basical cause concerning to this one-side separation is the unstable flow field around the stern, where flow from the bottom or the side is not apt to reach smoothly to the upper part of the stern. This circumstances becomes more or less severe according to the fullness of the upper part of the stern and the region of the propeller suction.

* 広島大学工学部

** 佐世保重工業(株)

*** 幸陽船渠(株) (研究当時, 広島大学大学院工学研究科修士課程)

5) When the clearance above the propeller or the rudder is large and if the stern is flat, this unstable flow field develops into the one-side flow separation.

6) To avoid the unusual phenomenon, a center fin shutting the clearance is effective from the practical point of view.

7) The mathematical model of ship motion accompanied with unusual phenomenon, proposed in this paper, can represent the motion fairly well.

1. 緒 論

筆者らは肥大船型に生じた異常現象について検討し、模型と実船の特異な運動性能、模型に作用する流体力の特徴、さらに制御の面からの対策等を報告した¹⁾²⁾。その結果によると、この種の船の特異な操縦性能は舵角や運動の強さによって決まる流体力の他に、それらによらず、ほぼ一定の流体力が船体に作用するためであると説明できる。このような流体力の存在はすでに拘束操縦性試験を通じて確認されている。

今回はこの異常な流体力が生じる船尾流場について検討した。まず、左右のいずれかの舷側に生じる剥離について述べる。次に、プロペラの上部の間隙やプロペラ直径などがこの剥離の発生に及ぼす影響について考察し、プロペラ上部の間隙を塞ぐセンターフィンがこの現象の抑制に有効であることを示す。最後に、拘束操縦性試験で計測した流体力を用いて自航操縦性能を推定し、試験結果と比較する。

なお、本研究の供試験船は第一報におけるA丸の3m模型であり、その主要目を実船の要目とともに、Table 1 に示す。

Table 1 Principal Particulars of the Ship

	ACTUAL SHIP	MODEL SHIP
L_{pp} (m)	185.00	3.000
B (m)	30.00	0.4919
d (m)	10.12	0.1644
Δ (ton)	43,300	0.197
C_b	0.814	0.813
C_D	0.817	
C_g	0.995	
lcb (°)	-2.14 fore	-2.14 fore
L/B	6.100	6.099
B/d	2.964	2.992
V (m/s)	7.613	0.976
Fn	0.180	0.180

2. 船尾流場とその特徴

すでに第一報で示したが、同じ舵角と斜航角を保っているにもかかわらず、本船に作用する流体力は二つの値をもち、一方から他方へとしばしばその値を転じる。この流体力が急変する時の流場の特徴を知ることは、異常現象の解明にとって、本質的に重要である。

ここではまず斜航中の船尾流場を観察した。観察は空気泡をトレーサ粒子として用いた。この方法は五孔管などによる計測のように定量的な値は得られないが、流場の特徴を直接全体的に把握できる点で極めて有用である。この方法は流場が落ちつかず、流れが時々交代するような場合に特に通している上、流れを攪乱することが少ない。

空気泡は浮力のためわずかに上昇する欠点をもつが、その直径を小さくするなら、ある程度の流速をもつ流場の可視化に十分役立つ。また、注入も容易で拡散せず、しかも水槽を汚さない利点もある。ただし、補助的に染料もトレーサとして用いた。

代表的なものとして、斜航試験時の流場観察結果について述べる。試験状態は3m模型のプロペラ回転数を4.5 m模型の自航点に調整している。まず斜航角左右8度の場合の流場を観察した。この斜航角では模型に働く異常な流体力が旋回を抑制する方向の値のみを取るから、観察される流場も一つである。船体のごく近傍に注入した気泡

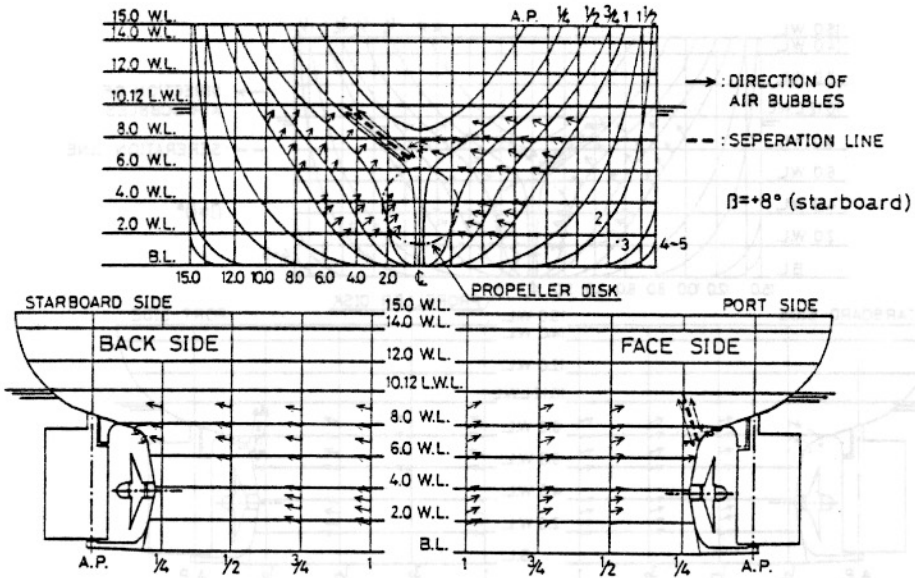


Fig. 1 Flow Pattern along the Stern (Drift Angle = +8°)

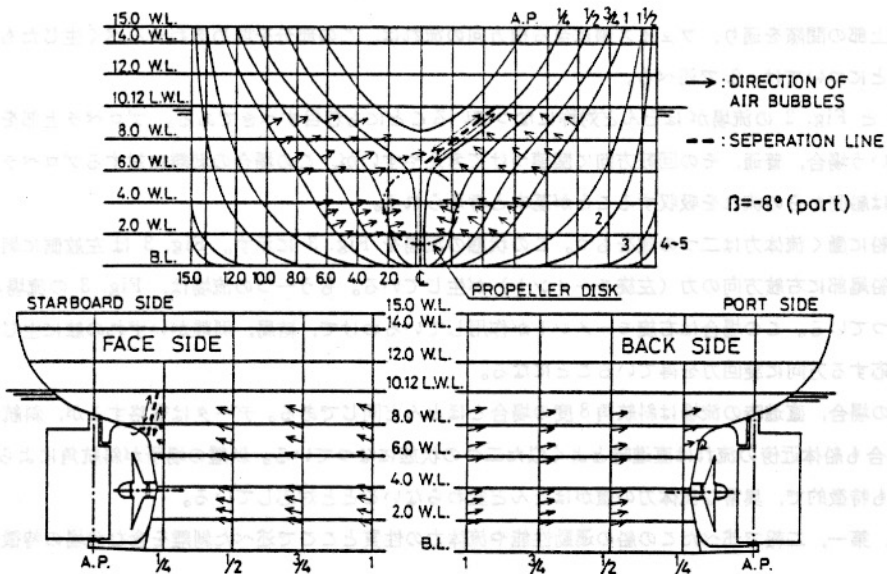


Fig. 2 Flow Pattern along the Stern (Drift Angle = -8°)

の動きを Fig. 1, Fig. 2 に示す。なお、この図で water line, buttock line は実船に換算して示してある。

この流場において、プロペラ上部の間隙を通るバック側（下流側）からフェイス側（上流側）への強い横方向の流れが特徴的である。この横方向の流れによつて、バック側の流れは比較的スムーズになっているが、フェイス側では S. S. 1/4 のやや船尾側の水面近くに明瞭な剝離がみられる。一般に左右舷の流れはセンターライン上で合流し、流出すると考えられているが、この場合にはそれと明らかに違っている。

また、この図では必ずしも明らかではないが、左右舷でプロペラの吸引が及ぶ範囲の違いも見られる。フェイス側の吸引力が強く、船底あるいは船側から船尾上部に至る流れのより多くの量がプロペラに吸い込まれている。したがつて、フェイス側の上部の水面近くでは、言わば“水が不足”した状態になっている。吸引力の弱いバック側

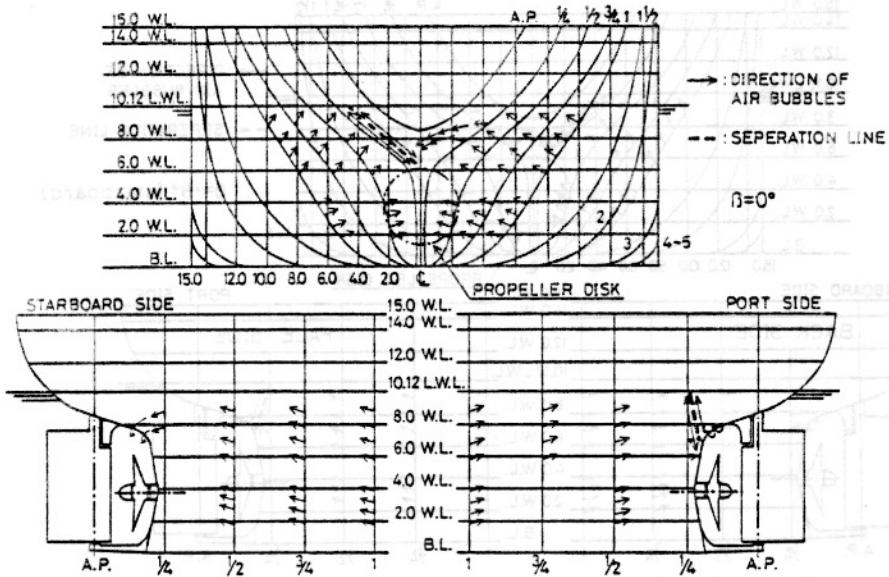


Fig. 3 Flow Pattern along the Stern (Drift Angle = 0°)

から、プロペラ上部の間隙を通り、フェイス側に至る横方向の流れは、この部分を埋めあわせるべく生じたものであろう。このことについては、3.で述べる。

また、Fig. 1 と Fig. 2 の流場がほとんど対称になっていることにも着目すべきである。プロペラ上部を通る横方向の流れという場合、普通、その回転方向に関連づけて考えやすいが、この場合の剝離に対するプロペラの役割は船底あるいは船側からの流れを吸収することが基本と考えられる。

直進中、この船に働く流体力は二つの値をもつ。この状態の流場を Fig. 3 に示す。Fig. 3 は左舷側に剝離が生じた状態で、船尾部に右舷方向の力（左旋モーメント）が生じている。もう一つの流場は、Fig. 3 の流場とほとんど対称になっている。この場合は右旋モーメントが作用しているわけで、結局、剝離がいずれの舷に生じているかによつて対応する方向に旋回力を得ていることになる。

また、この船の場合、直進時の流場は斜航角8度の場合とほとんど同じである。データは省略するが、斜航角を20度位にした場合も船体近傍の流れは直進時とよく似た二つの状態になっている。剝離の場所が斜航角によらず一定しているのも特徴的で、異常な流体力の値がほとんど変わらないことと対応している。

以上のように、第一、二報で述べたこの船の運動性能や流体力の性質とここで述べた剝離を含む流場の特徴とはよく合っている。

3. 船尾配置の影響

このような剝離の生じる原因の解明は粘性の影響の強い船尾流場の研究にとつて重要な課題である。しかし、粘性流体の三次元的な剝離現象は複雑で、この原因究明は容易でない。そこで、今回はプロペラの直径、その上部の間隙の大きさなどの船尾配置がこの異常現象に及ぼすかについて調べた。ここで言う船尾配置とは船尾の形状、プロペラや舵の形状及びそれらの相互位置を意味する。

第一報で示したように、この異常現象はスラストをはじめとする縦方向の流体力の変動を伴っており、抵抗推進の領域における「不安定現象」とほぼ同じ現象である。不安定現象に関する多くの研究例によると、この現象は自航時のみ現れると考えてよいから、まず、プロペラの影響について考えることにする。

プロペラと舵を取り外し、裸殻の状態では斜航すると Fig. 4 に示すように船体に働く流体力は一つの滑らかな特性曲線上に落ちつき何らの異常も生じていない。同時に行つた流線観察の結果によると、裸殻状態では直進時の両舷に明瞭な縦渦の存在が認められるが、わずかに斜航角を与えるとフェイス側の渦は急激に消滅し、バック側の縦渦が支配的になる。しかし、計測される流体力に急な変化は生じておらず、縦渦の消長と異常現象とは一応切り離して考えるべきようにみえる。

さらに、舵を取りつけ、斜航試験を行つたが、裸殻の場合とほぼ同様な結果であつた。このことから、異常現象はプロペラの作動中に生じる前述の剥離に起因するものと考えられる。

そこで、プロペラがこの剥離に及ぼす影響について検討するため、プロペラの直径を変更して斜航試験を行つた。使用したプロペラの要目は、Table 2 に示す通りで、このうち原型はプロペラ直径が 80.47 mm のものである。それぞれの回転数は自航操縦性試験に用いた 4.5 m 模型の自航点に調整している。また、回転方向はすべて右回転である。最大の直径は 120.7 mm で、この場合にはシューピースを取り外している。こうして得られた斜航試験結果を Fig. 5~Fig. 8 に示す。

プロペラ直径を大きくした場合、剥離が右舷側に生じ易くなる傾向が認められる。原型プロペラの場合、直進付近では左右舷のいずれでも剥離しえたが、直径が 100.0 mm になると斜航角右 3 度まで、120.7 mm になると右 10 度に至る全域で右舷に剥離が生じる。プロペラ直径が大きくなると、上部の間隙が狭くなり、その部分の流場にプロペラの回転の影響が強くなつて、左から右舷側へ流れやすくなるため、右舷に剥離が生じやすくなるのであろう。プロペラ直径が 120.7 mm の場合、この間隙は非常に小さい。しかし、わずかでも間隙が残っていると、横方向の流れが生じ、剥離に結びつくことは重要である。

逆にプロペラ直径を 53.3 mm と小さくした場合、広範囲の斜航角で異常現象は生じていない。当初、プロペラ上部の間隙が大きくなるから横方向の流れが生じやすくなり、原型よりも顕著な異常現象が存在するかと予想していたが、結果は逆であつた。この場合、プロペラの上部の流場は落ちつきが悪く、小さな渦らしいものが認められるものの、大きな剥離に発達することはない。そこで、計測される流体力もわずかに変動しているが、普通の特性になつている。しかし、斜航角が右 10 度とした場合の大きな流体力の変動は問題の剥離に起因しており、異常現象が完全には消えていない。

さて、プロペラ上部の間隙が大きくなつたにもかかわらず、異常現象が消えたのはなぜであろうか。流場観察の

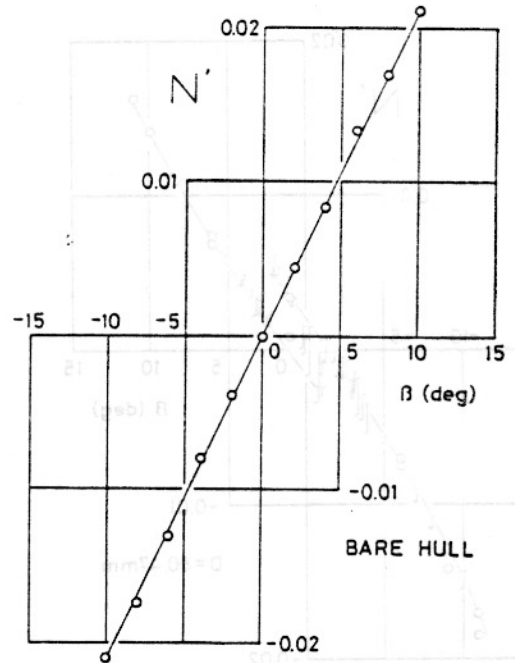


Fig. 4 Yaw-Moment Acting on the Model Towing Obliquely (Bare Hull)

Table 2 Principal Particulars of Propellers

DIAMETER (mm)	53.30	80.47	100.0	120.7
PITCH RATIO	0.800	0.730	0.800	0.730
PITCH (mm)	42.64	58.74	80.00	88.10
EXPANDED AREA RATIO	0.670	0.575	0.400	0.575
ANGLE OF RAKE (deg)	10°00'	9°58'	10°18'	9°58'
NUMBER OF BLADE	5	5	4	5
NUMBER OF REVOLUTION (rps)	45.5	22.8	16.5	12.0

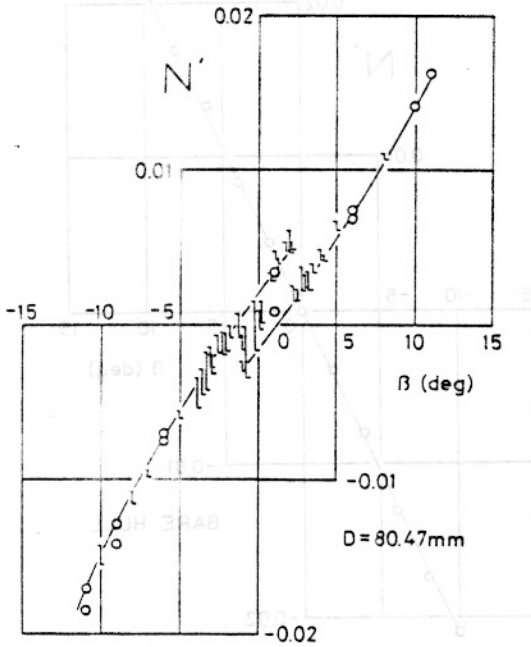


Fig. 5 Yaw-Moment Acting on the Model Towing Obliquely (Propeller Diameter=80.47 mm: Original)

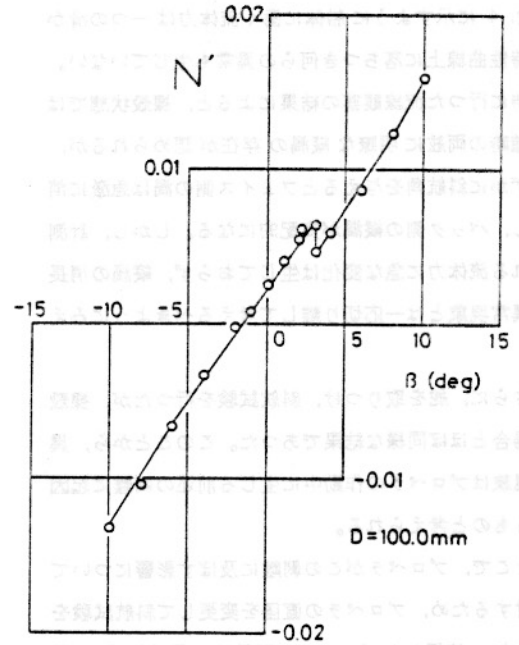


Fig. 6 Yaw-Moment Acting on the Model Towing Obliquely (Propeller Diameter=100.0 mm)

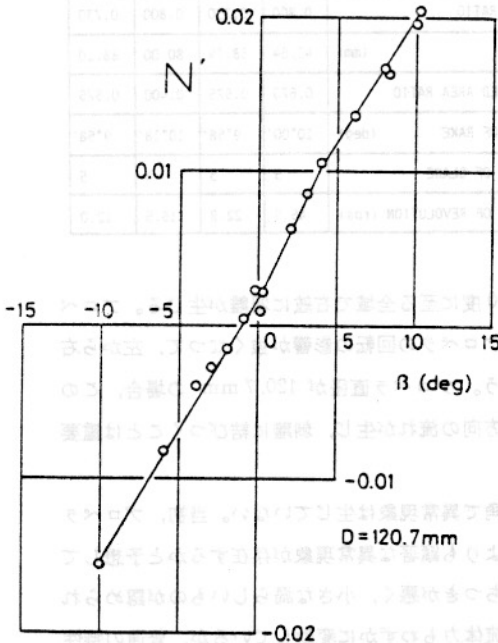


Fig. 7 Yaw-Moment Acting on the Model Towing Obliquely (Propeller Diameter=120.7 mm)

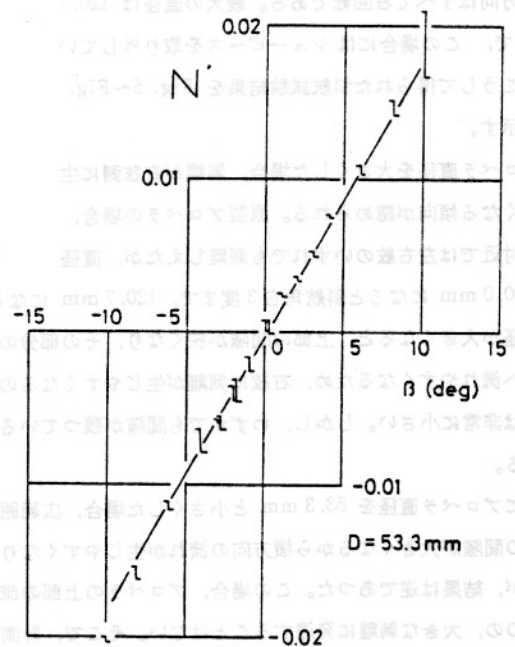


Fig. 8 Yaw-Moment Acting on the Model Towing Obliquely (Propeller Diameter=53.3 mm)

結果によると、この原因はプロペラ吸引力の及ぶ範囲の変化と思われる。プロペラ直径は小さいが原型とほとんど同じスタートを得ているから、局所的な吸引力は強い。しかし、プロペラ径が大きい場合と違い、プロペラはあまり上部の流れを吸い込まないので、船側から大きくまわりこむ形で船尾上方に流れが到達している。結局、プロペラの強い吸引によつて、プロペラ上部に至る流れが遮断され、その部分の流場が不安定になることが異常な剥離に結びつくものと考えられる。

プロペラ上部の流場の不安定が非対称な流場（片舷のみに剥離が生じている、直進中でさえ）に発達する理由は明瞭ではない。しかし、視点をかえると、このような流場が対称になるべきだと考えること自体に無理があり、カルマン渦その他の例に見られるように、非対称な流場の方がより安定であるということなのかも知れない。いずれにせよ、この理由の究明は今後の問題である。

以上の検討を通じて、異常現象の発生には船底あるいは船側から船尾の水面近くに至る流れが遮断され、その部分で“水が不足”するという条件が密接に関連すると考えられる。したがって、プロペラ吸引力の及ぶ範囲や水面近くの water line 形状や肥大度などは異常現象の発生を判断する目安として期待できる。

さらに、こうして生じた流場の不安定が非対称な流れに発達する条件についても考えておくべきであろう。この条件の一つはプロペラや舵の上部の間隙を通じる横方向の流れの発生のしやすさに関連すると考えてよい。異常現象の顕著な船はプロペラや舵の上部の間隙が大きく、その部分の船底がフラットである場合が多いのはこれに関連しているであろう。

プロペラや舵の上部の間隙を塞ぐセンターフィンが異常現象の抑制に効果があることについては、別の機会に報告した³⁾。この船に Fig. 9 に示すセンターフィン装着した場合の斜航試験結果を Fig. 10 に示す。センターフィンは予想通りの効果をあげ、異常現象は消えている。流場観察の結果によると、プロペラ上部の流れは必ずしもスムーズとはいえないが、フィンなしの場合のような片舷の大きな剥離は認められない。このフィンは船尾の水面近くの流場の不安定さを消すものではないが、非対称な流場の形成を妨げることによつて、異常現象を抑制する効果をもつから、本現象への対策として有効である。

最後に、自航要素等の縦方向の流体力に触れる。この船の場合、横方向の流体力の変化に対応して、縦方

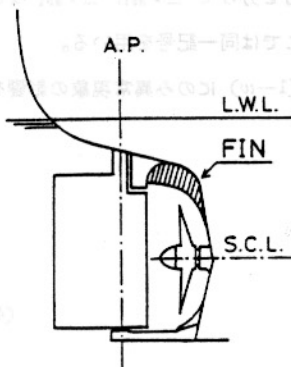


Fig. 9 Fin Profile of the Model

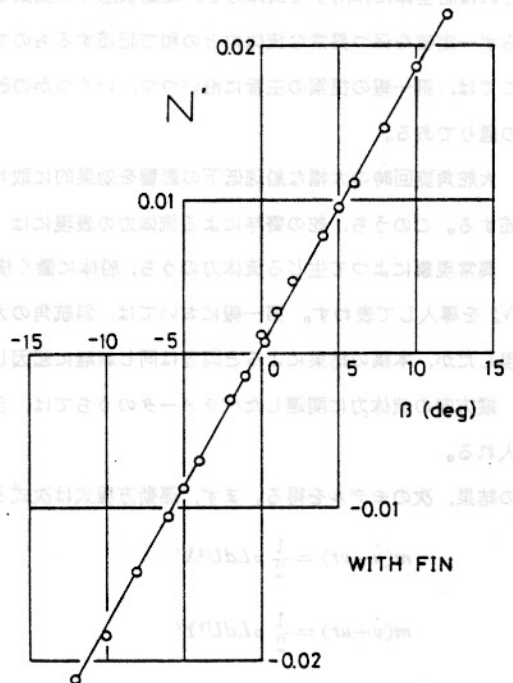


Fig. 10 Yaw-Moment Acting on the Model Towing Obliquely (with Fin of Fig. 9)

向の力も明瞭に変わり、微小運動中の自航要素は二つの値をもつ。この船型の実船にも異常現象が生じているから、馬力推定等に用いる自航要素は実船対応の SFC を与えた自航試験で得られる値（おそらくは二つの値）を用いばよい。

しかし、どちらの舷に剝離を生じるか、あるいはどちらにも生じないかという判断は容易ではなく、微妙な条件の相違で変りうることは今回の研究から明らかであろう。実船においては、異常現象あるいは不安定現象は生じないとされていた時期もあるが、今日、少なからぬ実船でこの現象を経験している。したがって、一概に剝離が生じない時の自航要素を用いて馬力推定をすればよいとも言えない。また、自航試験で得られた自航要素の二つの値のうち、一方が剝離のない正常な値と速断することも危険である。ここで示した結果によると、二つの値は、ともに右舷剝離、あるいは左舷剝離に対応している。さらに、自航試験で自航要素が一つの値に落ちついたからといって、異常現象（不安定現象）が生じていないと断言することもできない。

筆者らは、異常現象（不安定現象）を限られた特殊な船型のみの問題としてではなく、ある程度以上船尾が肥大した船に起こる一般的な現象として把えるべきであると考えている。したがって、このような船（特に船尾部の局所的な肥大度に着目すべきである）の場合、プロペラの荷重度を広範囲に変更した自航試験で自航要素の急激な変化の有無を確認することなどが大切と思われる。

4. 流体力の記述法とその検証

最後に、この船に作用する流体力をモデル化し、自航操縦性試験結果の推定を行う。

第一報において、異常現象を有する船に働く流体力の基本的な特徴を明瞭にする意味で、その記述法を提案した。これは船全体に作用する流体力を、運動状態等の関数として、 $r, v, \dot{r}, \dot{v}, \delta$ の多項式で記述する部分と、運動によらず一定値を保つ異常な流体力との和で記述するものである。

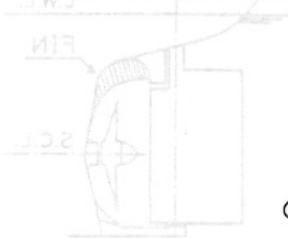
ここでは、第一報の提案の主旨に沿いつつ、いくつかの改良を施し、運動モデルを考える。その改良のポイントは次の通りである。

- 1) 大舵角旋回時の大幅な船速低下の影響を効果的に取り入れるために、船体と舵の部分で流体力を分離して記述する。このうち、舵の寄与による流体力の表現には MMG モデル⁴⁾を参考にする。
- 2) 異常現象によつて生じる流体力のうち、船体に働く横方向の力、重心まわりのモーメントは一定値 $\pm Y_{\delta 0}$, $\pm N_{\delta 0}$ を導入して表わす。第一報においては、斜航角の大小で異常な流体力を分けて $\pm Y_{\delta 01}$, $\pm Y_{\delta 02}$ などと表現したが、本稿の結果によると両者は同じ剝離に起因しているから、ここでは同一記号を用いる。
- 3) 縦方向の流体力に関連したパラメータのうちでは、自航要素 $(1-r)$, $(1-w)$ にのみ異常現象の影響を取り入れる。

この結果、次のモデルを得る。まず、運動方程式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} m(\ddot{u}-v\dot{r}) &= \frac{1}{2} \rho L d U^2 X' \\ m(\ddot{v}+u\dot{r}) &= \frac{1}{2} \rho L d U^2 Y' \\ I_{zz} \ddot{r} &= \frac{1}{2} \rho L^2 d U^2 N' \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

この X', Y', N' は流体力であり、それぞれ次式で表わす。



$$\begin{aligned}
 X' &= X'_u \dot{u}' + (X'_{vr} - Y'_v) v' r' + (1-t) T' + X'(u') \\
 &\quad + F'_Y \sin \delta \\
 Y' &= Y'_{\dot{v}} \dot{v}' + Y'_{\dot{r}} \dot{r}' + Y'_{\dot{v}v} v' + (Y'_{\dot{v}r} + X'_u \dot{u}') r' \\
 &\quad + Y'_{\dot{v}vv} v'^3 + Y'_{\dot{v}vrr} r'^3 + Y'_{\dot{v}vvr} v'^2 r' + Y'_{\dot{v}vrrr} v' r'^2 \\
 &\quad \pm Y'_a \\
 &\quad + (1+a_R) F'_Y \cos \delta \\
 N' &= N'_{\dot{v}} \dot{v}' + N'_{\dot{r}} \dot{r}' + N'_{\dot{v}v} v' + N'_{\dot{v}r} r' \\
 &\quad + N'_{\dot{v}vv} v'^3 + N'_{\dot{v}vrr} r'^3 + N'_{\dot{v}vvr} v'^2 r' + N'_{\dot{v}vrrr} v' r'^2 \\
 &\quad \mp N'_a \\
 &\quad + (x'_R + a_R x'_G) F'_Y \cos \delta
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

自航要素は次の形でモデル化する。

$$\begin{aligned}
 (1-t) &= (1-t_0 \mp t_a) \\
 (1-w) &= u_p/u = \{(1-w_0 \mp w_a) + f(v, r)\}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

異常現象の影響は $\pm t_a$, $\mp w_a$ で表現している。また操縦運動は伴流率にのみ影響するとみなし、 $f(v, r)$ の項で表わす。

舵の直圧力は次式で表わす。

$$F'_Y = \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 \frac{6.13\lambda}{\lambda + 2.25} \alpha_R / \frac{1}{2} \rho L d U'^2 \tag{4.4}$$

ここで U_R は舵位置の縦横方向の流速を示す。

本研究で用いた流体力の記述方法は概略以上の通りである。その他、プロペラの単独性能や増速効果をはじめ、いくつかの補助的な実験式を用いているが、これらは実験結果を簡略な形で近似するという観点で選んでいる。それらの詳細は本稿の主題から外れるので、ここでは省略する。

斜航試験、CMT (旋回運動試験)⁹⁾ などにより求めたこの船の基本的な流力微係数を Table 3 に示す。

結局、以上のモデルによつて 4.5 m 模型の旋回特性を計算すると、Fig. 11 の結果をうる。図中の○印や△印は自航操縦性試験の結果を示すが、推定値と一致している。このことから、本研究における拘束操縦性試験とその結果の記述法が妥当であることがわかる。

なお、自航操縦性試験の結果のみから、運動モデルを得る場合には、第二報で示した式を無次元化した次式が有効であろう。

$$\left(\frac{L}{V}\right)^2 T'_1 T'_2 \dot{r}' + \left(\frac{L}{V}\right) (T'_1 + T'_2) \dot{r}' + r' + \left(\frac{L}{V}\right)^2 \alpha' r'^3 = \left(\frac{V}{L}\right) K'(\delta \pm \delta_a) + K'(T'_3 \dot{\delta} \pm T'_4 \dot{\delta}_a) \tag{4.5}$$

このモデルは船速低下が極端に大きい場合を除き、異常現象を有する船の回頭運動をうまく表現する。

4. 結 論

本研究では第一報の模型実験や第二報の実船実験で得られた結果に基づき、さらに詳細な拘束模型試験や船尾流場の観察を行った。そして、異常現象を有する船の流体力や流場の特徴をつかみ、さらにそれらが現象そのものの発生とどうつながっているかについて検討を行った。

本研究で得られた主な結論は次のとおりである。

- (1) 本研究の供試船には、直進中、斜航中あるいは、旋回中を問わず、横流れや旋回、舵角の関数としての流

Table 3 Hydrodynamic Derivatives of the Model ($F_n=0.18$)

$X'_{\dot{\delta}}$	-0.016	X'_{Vr}	0
$Y_{HP\dot{V}}$	-0.189	$N_{HP\dot{V}}$	-0.0058
$Y_{HP\dot{r}}$	-0.0172	$N_{HP\dot{r}}$	-0.0096
Y_{HPV}	-0.299	N_{HPV}	-0.0946
Y_{HPr}	0.103	N_{HPr}	-0.0602
Y_{HPVVV}	-0.698	N_{HPVVV}	-0.264
Y_{HPrrr}	-0.230	N_{HPrrr}	0.0512
Y_{HPVvr}	0.501	N_{HPVvr}	0.484
Y_{HPvrr}	0.763	N_{HPvrr}	-0.257
$Y_{\dot{\delta}}$	0.004	$Y_{\dot{r}}$	0.0015
$1-t_{\dot{\delta}}$	0.745	$1-w_{\dot{\delta}}$	0.357
$t_{\dot{\delta}}$	0.005	$w_{\dot{\delta}}$	0.057

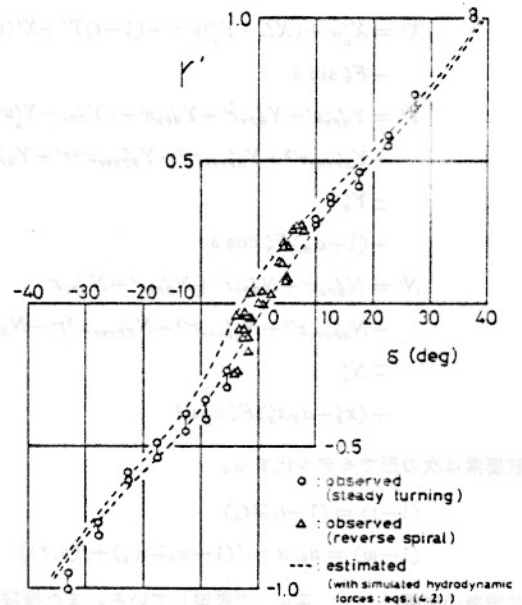


Fig. 11 Estimation of the Turning Characteristics of the 4.5 m Model

体力の他に、それらによらずほとんど一定の異常な流体力が働いている。

(2) この異常な流体力は、船尾右舷または左舷の水面近くに生じる流れの剥離によつて生じ、したがつて、剥離舷の交代によつて、この異常な流体力も、その符号が変わる。

(3) 船尾に発生する剥離はプロペラ作動中にのみ生じ、基本的には、その回転方向によらず、いずれの舷にでも生じる。

(4) この片舷に生じる剥離流れの基本的な原因は船尾の比較的上部の肥大度が大きくなり、同時にプロペラサクシオンが影響して、船底や船側からの流れが船尾上方にスムーズに至らず、この近傍の流場が不安定になることによる。

(5) その時、プロペラや舵上部の間隙が大きく、その部分の船底が平らであると、そこを一方の舷から他方の舷へまわり込む流れが生じ、船尾の不安定な流場が一方の舷の大きな剥離に発達する。

(6) こうして生じる異常現象を防ぐには、根本的には、船尾の肥大度を抑制し、水面近くの water line 形状やプロペラ、舵等の選定に留意する必要がある。実用的な対策としては、プロペラや舵上部の間隙を塞ぐセンターフィンが有効である。

(7) 本研究で提示した異常現象を有する船の運動モデルは、その現象を十分近似している。

本研究の遂行にあたり、多くの方々のご協力を得た。東京大学工学部、元良誠三教授、藤野正隆助教授、小山健夫助教授からは、東京大学船舶航海性能試験水槽の借用にあたり、種々の便宜を計つていただいた。また、同試験水槽の小柳雅志郎助手をはじめとする職員の方々には、実験中、折にふれ、ご協力いただいた。さらに、広島大学大学院工学研究科修士課程の昭和53年度修了、吉川正嗣、広島大学工学部の昭和52年度卒、池田弘保、竹田隆一、同昭和53年度卒、嵯峨太郎、西原良康の諸氏が卒業研究等で本研究に携わつた。ここに、厚く御礼申し上げます。

なお、本研究の経費の一部は、昭和53年度文部省科学研究費補助金によること、ならびに、本研究の計算は、

広島大学計算センターの HITAC 8700 及び広島大学工学部船舶工学教室の PANAFACOM U-300 によつたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 小瀬邦治他：肥大船の特異な操縦性能に関する研究，西部造船会会報，第 54 号，(1977 年)
- 2) 小瀬邦治他：肥大船の特異な操縦性能に関する研究（第二報），西部造船会会報，第 57 号，(1979 年)
- 3) 仲渡道夫他：漁船船型の特異な操縦性能とその改善に関する研究，日本造船学会論文集，第 143 号，(1978 年)
- 4) 小川陽弘他：MMG 報告—I 操縦運動の数学モデルについて，日本造船学会誌，第 575 号，(1977 年)
- 5) 小山健夫他：Circular Motion Test (CMT) による操縦性試験法について，日本造船学会論文集，第 138 号，(1975 年)