操縦微係数に及ぼすプロペラ、舵の影響について

正員 湯 室 彰 規*

Influences of Propeller and Rudder on Maneuvering Stability Derivatives

by Akinori Yumuro, Member

Summary

A simple procedure for predicting stability derivatives of a ship equipped with a propeller and rudder from those for the bare hull was examined. A procedure of this kind is very important as it enables us to easily examine an influence of rudder area on stability derivatives and scale effect in maneuvering characteristics.

This paper indicates that the lateral force exerted by rudder deflection on a hull must be taken into consideration when making a presumption of this kind, and the influence of a propeller operating on stability derivatives is, in comparison with the influence of the rudder force, not so negligibly small that it cannot be disregarded. Further, through the above mentioned studying process, lateral force acting on the propeller installed on the obliquely moving ship was directly measured, and it was made clear that the force delivered to the propeller itself (the so-called fin effect of the propeller) would not be a significant component of the lateral forces produced by the action of the propeller on the hull and propeller.

1 緒 言

操縦微係数を求めるためのいわゆる拘束模型試験では、プロペラや舵の付加物の有無によっていくつかの状態の試験が考えられる^{1),2)}。船型間の操縦性能の比較検討を行なう場合、まず船体自身の特性を明確にし、これに舵やプロペラの影響を付加するという考え方は、実用的な意味においても有効なものと考えられるが、従来、この試験をプロペラおよび舵を装備した場合と船体単独の場合の2つの状態について実施し、かつこれらの結果の間の関係について検討を加えた報告は意外に少ないように思われる^{3),4)}。

本稿では、このような2つの状態で実施した強制ヨーイング試験の結果の例を示し、この結果を基にして、船体単独の場合の微係数からプロペラと舵を装備した場合のそれを推定する1つの簡便法について検討した。このような推定がある程度精度よく行なえれば、たとえば舵面積を変化させたとき微係数がどのように変化するかという問題や尺度影響の問題などを考える上で非常に便利であろう。また、この検討の過程において、従来あまり調査されていない微係数に及ぼすプロペラの影響について考察するとともに、斜航する船体に取り付けられたプロペラ自身に作用する横方向の力を直接計測することを

試み、いくつかの計測例とその検討結果を示している。

2 微係数に及ぼすプロペラおよび舵の影響の表示

船の操縦運動によって舵やプロペラに力が発生するが、これらは船体自身の微係数に含めて取り扱われる。ここで述べる微係数に及ぼす影響とはこれらの効果を意味するものとする。

プロペラおよび舵が作動しているときの操縦運動の方程式として(1)式の形の線形方程式を仮定する。この式は、舵による力として舵自身に作用する力のほかに操舵によって船体に誘起される力⁵⁾を考慮し、また船の運動が舵の力に与える影響のほかに、船の運動によってプロペラに発生する力をも考慮したものである。

$$\left. \begin{aligned} (M_0' + M_y')\dot{\beta} + Y_{\beta}'\beta - \{(M_0' + M_x') \\ - Y_r'\}r' = Y_1' + Y_2' \\ (I_z' + J_z')\dot{r}' - N_r'\cdot r' - N_{\beta}'\beta = N_1' + N_2' \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} Y_1' &= k \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \left\{ \delta - C \left(\beta + \frac{l_r}{L} r' \right) \right\} \cos \delta \\ Y_2' &= -\Delta Y_{\beta}' \left(\beta + \frac{l_p}{L} r' \right) \\ N_1' &= \frac{l_r}{L} Y_1' \\ N_2' &= \frac{l_p}{L} Y_2' \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

* 石川島播磨重工業(株)技術研究所

ただし β, r', δ : 横流れ角, 無次元回頭角速度並びに舵角

$k=Y_{\delta}'/Y_{R\delta}'$ (Y_{δ}' : 操舵によって舵および船体に生ずる力の微係数, $Y_{R\delta}'$: 舵自身に働く力の微係数)

A_r : 舵面積

V, V_r : 船速および舵への流入速度

C_{δ} : 舵の直圧力係数勾配

$l_r(l_p)$: 船の重心から舵軸 (プロペラ位置)までの距離

C : 整流係数

$\Delta Y_{\beta}'$: プロペラの作動によって発生する横方向の力の微係数

(1)式の右辺の第1項が舵によるもの, 第2項がプロペラによるものであり, それぞれが(2)式のように表わされるものとしている。

この式には次のような仮定が含まれている。 C や $\Delta Y_{\beta}'$ は β および r' の2変数の関数として取り扱うべきであるが, ここでは便宜上船尾横流れ角を斜航角に等価として取り扱う。操舵によって船体に誘起される力の作用点の位置は, 実際には船尾端より多少前方にあると考えられるが, ここでは, 近似的に舵軸の位置にあるとして取り扱う。なお, プロペラによる力も, プロペラ自身に作用するものとそれの作動によって船体に発生するものから成っているが, 簡単のためこれらを区別せず, 後者の力の作用点もプロペラ位置にあると仮定している。

船体単独の場合およびプロペラ, 舵を装備した場合の微係数に, それぞれ添字0および p. r. を付すと, 上述した仮定のもとに(1), (2)式から次式が得られる。

第1表 模 型 船 の 要 目

	模型船(I)	模型船(II)	模型船(III)	模 型 船 (IV)		
$L_{pp}(=L)$ (m)	4.000	4.000	3.340	7.000		
B (m)	0.667	0.800	0.835	1.167		
d (m)	0.253	0.266	0.223	0.443		
C_{δ}	0.83	0.80	0.75	0.83		
舵面積比 A_r/Ld	1/61.3	1/49.5	1/39.2	舵 No.1	舵 No.2	舵 No.3
				1/45.0	1/61.3	1/80.0
縦 横 比	1.35	1.36	1.27	0.990	1.35	1.76
プロペラ直径(m)	0.112	0.133	0.100	0.210		
ピ ッ チ 比	0.72	0.67	0.75	0.71		
翼 数	5	5	5	5		
回 転 方 向	右	右	右	右		
試験船速 F_N	0.15	0.14	0.175	0.15		

$$\left. \begin{aligned} [Y_{\beta}']_{p.r.} &= [Y_{\beta}']_0 + k \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \cdot C + \Delta Y_{\beta}' \\ [Y_r']_{p.r.} &= [Y_r']_0 + k \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \cdot C \frac{l_r}{L} + \Delta Y_{\beta}' \cdot \frac{l_p}{L} \\ [N_{\beta}']_{p.r.} &= [N_{\beta}']_0 - k \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \cdot C \frac{l_r}{L} - \Delta Y_{\beta}' \cdot \frac{l_p}{L} \\ [N_r']_{p.r.} &= [N_r']_0 - k \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \cdot C \left(\frac{l_r}{L} \right)^2 \\ &\quad - \Delta Y_{\beta}' \cdot \left(\frac{l_p}{L} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし, $\cos \delta \doteq 1$ が成り立つと仮定している。従来の旋回航跡などの操縦運動の推定計算に多く採られているさらに簡単な取扱いによる場合は, (3)式に相当する表示は(4)式ようになる。

$$\left. \begin{aligned} [Y_{\beta}']_{p.r.} &= [Y_{\beta}']_0 + \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \cdot C \\ [Y_r']_{p.r.} &= [Y_r']_0 + \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \cdot C \frac{l_r}{L} \\ [N_{\beta}']_{p.r.} &= [N_{\beta}']_0 - \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \cdot C \frac{l_r}{L} \\ [N_r']_{p.r.} &= [N_r']_0 - \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 C_{\delta} \cdot C \left(\frac{l_r}{L} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

以下, 船体単独の場合からプロペラおよび舵のある場合の微係数を推定するのに必要とする(3)または(4)式中の各係数の値の評価を第4, 5章に, この結果を用いて推定した微係数と実測値との比較を第6章において述べることにする。

3 模型船要目および試験状態

まず, 以下に示す試験データの模型船の要目などをここに述べておくことにする。第1表に要目を示す。い

ずれもタンカー船型である。さきに述べたように, 本稿では便宜上一般の操縦運動を横流れ運動のみに還元して取り扱うことができるかと仮定しているので, 第4, 5章については斜航試験のみを行なっている。プロペラ回転数は, 摩擦修正付きの直進自航試験時のものとほぼ等しい値(n_0)を基準とし, これを1.5倍($n/n_0=1.5$)にしてプロペラ荷重度を変化させた場合の結果も若干示している。なお, 自由に航走する船では, 斜航角(横流れ角)が生ずると一般に船速が低下してプロペラ荷重度も変化するが, ここでは純粋に斜航角の影響をみるために, 以下の斜

第1図 斜航モーメントに及ぼすプロペラの影響(1)

航試験では斜航角を変化させる場合も船速、プロペラ回転数は一定としている。

試験⁹⁾は上下動、縦揺れおよび横揺れの運動を自由にして行ない、船体横方向の力およびモーメントは、模型船の重心の前後2箇所で計測される横力から求めている。検力素子は、削り出しの門型フレームの中に差動トランスを内蔵させた形式のものを使用している。

4 微係数に及ぼすプロペラの影響

4.1 プロペラの存在によって発生する横方向の力

プロペラが作動すると、整流効果によってプロペラ自身に横方向の力が発生するとともに、船尾部の流れの状態が変化するために船体に作用する流体力も変化する。プロペラと舵との干渉の影響があるために、舵が存在する場合としない場合では、このような流体力も幾分異なるであろう。舵を船体から分離して船体の横力を計測すれば、この干渉の影響を含んだ値が得られるわけであるが、ここでは計測の容易さから、この影響を無視して(3)式の $\Delta Y_{\beta}'$ を舵が存在しない場合の値で代用する。

舵を除き、プロペラのある状態とない状態で行なった斜航試験の結果の例を第1図に示す。概して横力係数 Y' よりもモーメント係数 N' において両者の状態の差がより明瞭に現われるようであるので、ここでは N' についての結果を示している。もともと微量な量であるために、このような結果から N' の差 $\Delta N'$ を正確に求めることは元来困難なことであるが、大略の値を示すと第2図のようになる。

第2図 斜航モーメントに及ぼすプロペラの影響(2)

この図には、3隻の模型船の結果を示しているが、船型の影響について必ずしも一定の傾向が認められないこと、実験点のバラツキの大きさや再現性の点を考慮して、特に模型船の区別をせずにこれらの実験点の平均線を記入している。ここで、 $\Delta N'$ は横流れ角 β に対して一応直線的に変化するものと仮定している。 Y' の差 $\Delta Y'$ は、 $\Delta N' = l_p/L \cdot \Delta Y'$ の関係式を仮定することにして第2図から求めると、 $\Delta Y_{\beta}'$ の大略の値として0.008程度の数値が得られる。2軸船の場合の実験例が文献4)に示されているが、大まかな見当として、1軸のタンカー船型の場合、 $\Delta Y_{\beta}'$ の値としてこの程度の量を見積

ておけばよいと考えられる。

上述したように、 $\Delta Y'$ はプロペラ自身に生ずる力と船体に誘起される力とから成っていると考えることができるが、通常 fin 効果と称せられている前者の成分が実際の程度の大きさのものか、また $\Delta Y'$ の中でどの程度の割合を占めているかを次節において考察することにする。

4.2 プロペラ自身に働く横方向の力

プロペラが一樣流中を斜航する場合、すなわち open water test に対応する横方向の力の試験例はこれまでにいくつかあるが^{7),8)}、斜航する船体に取り付けられたプロペラに作用する横力を直接計測した資料はあまり多く見られないように思われる。以下に、使用した計測装置の概要、計測結果の例および検討結果について述べる。

4.2.1 計測装置の概要⁹⁾

使用した装置は、プロペラ軸上の2箇所を検力器を設けて、それぞれで検出した力からプロペラ軸に直角方向の横力を求める方式のもので、軸方向のスラストも同時に計測可能な2分力計となっている。製作するに当たって、次の諸点に留意している。

(i) プロペラ軸を2箇所で支え、プロペラに作用するモーメントを横力から分離して、横力のみが検出されるような構造にした。

(ii) プロペラ軸の変位を小さくしてスターン・チューブとの間隙を極力小さくするために、磁わい管型の検力器を採用した。

(iii) ユニバーサル・ジョイント部の軸中心間のずれによるスラストの横力測定精度に及ぼす影響が大きいと予想されるので、本装置ではプロペラ軸とは別に切欠きを有する横方向に柔軟なスラスト伝達用の棒を設け、プ

ロペラ軸そのものにスラストを伝達させない機構にした。

第3図に計測装置の概略図を示す。横力の較正については、直線性、再現性ともに実用上問題ない程度の精度が得られている⁹⁾。較正曲線がスラストやプロペラ回転数の影響をほとんどうけないこと、またプロペラ軸とある角度をなす方向に荷重を作用させ、横力とスラストの成分が正しく検出されていることを確認している⁹⁾。

4.2.2 計測結果および検討

計測されたプロペラ横力 ($1/2\rho V^2 Ld$ で除した無次元値) を横流れ角 β に対してプロットしたのが第4図である。ここでは $\beta=0^\circ$ のときの値からの変化分を示してある。同図には、参考までに模型船(I)について舵のある場合とない場合の結果を示しているが、両者に大きな差は認められない。このことは、プロペラ横力に関していえば、舵との干渉の影響はほとんど無視してもよいことを示している。同図によると、この力は β に対して必ずしも直線的に変化せず、 $\beta=15^\circ$ 近辺でピークが現われるようであるが、この傾向はスラストの変化の様子(第5図)に対応している。

プロペラ横力を推定するための計算式はいくつかあるが、ここではスラストも同時に計測していることから、一例としてスラストを用いて表現した比較的簡単な式¹⁰⁾

$$Y_p = \frac{1}{2} \rho V_p^2 F \frac{\zeta_s}{\sqrt{\zeta_s + 1}} \beta_p \quad (5)$$

ただし V_p : プロペラ流入速度

F : プロペラ円盤面積

$\zeta_s = S / \frac{1}{2} \rho V_p^2 F$ (S : スラスト)

β_p : プロペラ流入角

①プロペラ軸、②スタンチューブ、③リング(防水用)、④ハウジング(横力検出用)、⑤板ばね(横力伝達用)、⑥横力検出器(磁わい式)、⑦ハウジング(スラスト検出用)、⑧スラスト伝達棒(直角2方向可撓)、⑨軸受、⑩スラストレバー(スラスト伝達用)、⑪スラストフリーカップリング(トルク伝達)、⑫検出器ロックネジ

第3図 プロペラ横力計測装置の概略図

第4図 プロペラに働く横力の計測結果

第5図 プロペラ・スラストの計測結果

による計算値を第4図に記入して計測値と比較した。ここで、スラストの値として便宜上 $\beta=0^\circ$ における実験値を用いた。また、 $1-w^{(11)}$ および船体整流係数¹²⁾は第2表に示す数値を仮定した。以上の実験結果は、あるプロペラ回転数 $n/n_0=1$ の場合のもので、 β の符号も右旋回方向の限られた条件のもとでの結果であり、今後さらにプロペラ荷重や β の方向の影響についても調査されなければならないが、第4図に見られるように、通常のプロペラ荷重度では斜航時の船体に取り付けられたプロペラに作用する横力は、船体整流係数として第2表に示す程度の適当な値を仮定すれば、文献10)の計算式で大略推定できるものと考えられる。換言すれば、プロペラに働く横力の大きさは、文献10)の計算式を使用する限り、船体整流係数を1としたときがその上限を与えると考えてよい。

第6図に、さきに求めた $\Delta Y'$ とプロペラに働く横力の実測値 Y_p' との比較を示した。この結果から分かるように、プロペラ自身に生ずる横力はプロペラが作動したために発生する横力の一部であり、必ずしもそのほとんどを占めるものではないことがわかる。この図から Y_p' と $\Delta Y'$ とのおおよその割合を求めると、前者は後者の20%程度となる。この事柄をさらに確認する意味で、文献3)から第3表に示すような実験データを引用する。

第2表 プロペラ横力の推定に用いた
伴流係数および船体整流係数

	$1-w$	C
模 型 船 (I)	0.445	0.65
模 型 船 (II)	0.326	0.68

第6図 Y_p' が $\Delta Y'$ において占める割合

第3表 $\Delta Y_p'$ におけるプロペラ横力の
成分の例 (文献3) より)

$\Delta Y_p'$	$dY_p'/d\beta$
0.0266	0.00480

- (1) $L/B = 6.57$ $C_b = 0.842$
 (2) $\Delta Y_p' = Y_p'(\text{模型番号M3}) - Y_p'(\text{模型番号M1})$
 (3) $1-w = 0.400$ と仮定 ($L = 3.10\text{ m}$)

模型番号 M3 がプロペラ付きのもの、模型番号 M1 が付かないもの (ともに舵は付いていない) で、 $Y_p'(\text{M3}) - Y_p'(\text{M1}) = 0.2624 - 0.2358 = 0.0266$ が $\Delta Y_p'$ に相当する。船型要素の類似した他船のデータから $1-w$ の値を適当に推定¹¹⁾、同文献に掲げられているプロペラ特性曲線からスラストを求め、(5)式より $dY_p'/d\beta$ を算出して $\Delta Y_p'$ との割合を求める。ここでは一応船体整流係数は1と仮定しているが、第3表に見られるようにこの比は20%弱程度となり、上述した本稿の実験結果と同じ程度の値となる。

5 微係数に及ぼす舵の影響

5.1 操舵によって船体に誘起される力 およびモーメント

(2)式の係数 k の値については、これまで横流れ角 $\beta=0^\circ$ で舵角を変えた場合の実験はいくつかあるが^{5),18)}、ここでは比較的少ないと考えられる β が 0° でない場合の実験結果について述べる。

よく知られているように補助翼をもつ2次元翼の計算では、揚力に対して主翼と補助翼の寄与は独立であり、また文献15)のフラップ付き舵の実験結果でも、第1次近似としてはフラップによる増加は主舵の舵角によらないとされている。しかし、船体と舵系の場合はフラップ舵の場合に比して縦横比やプロペラの有無などの点で状況が異なるので、このような独立性がフラップ舵の程度に成り立っているかについては必ずしも明確ではない。

β を変化させたときの k の値の計測結果の例を第7図に示す。 k の値は、プロペラ、舵を含めた船体に働く横方向の力の舵角に対する勾配と舵に働く横方向の力のそれとの比で定義されるが、ここでは後者の力が零となる舵角の位置から $\pm 10^\circ$ の範囲の平均線の勾配を用いた。実際には、操舵角によってプロペラ特性が変化するので、第7図に示す k の値も純粋に操舵のみの影響を示すものではないが、ここではこの干渉の影響を無視して考えていることになる。

本図によると k の値に対する β の影響の様子は模型船 (I)、(II) の2隻の模型船でよく似ており、1つの傾向が現われているように思われる。また k の値は β に対して比較的大きな変化を示しており、取り扱い方の如何に

第7図 係数 k と横流れ角との関係
(プロペラのある場合)

よって必ずしも β に無関係に一定と見做せないように思われる。この結果には、 β そのものの影響のほかに、それに伴うプロペラ特性の差異の影響が含まれていると考えることができるので、比較のために第8図にプロペラを除いた場合の k の実験結果を示した。これによると、プロペラのない場合はある場合に比べて β の影響は小さく、第7図の β に対する変化には斜流に伴うプロペラ作動状態の変化の影響もかなり含まれていると考えることができる。

次に操舵によって船体に誘起される横方向の力の作用

点の位置の計測結果について述べる。誘起される力および重心まわりのモーメントを ΔY , ΔN とし、舵自身に作用するそれらを Y_R , N_R とすると、操舵による力およびモーメントの増加率から

$$\frac{\Delta N}{N_R} \frac{\Delta Y}{Y_R} = \frac{\Delta Y \cdot l}{Y_R \cdot l_r} \frac{\Delta Y}{Y_R} = \frac{l}{l_r} \quad (6)$$

ただし l : 船の重心より ΔY の着点までの距離
の形で ΔY の着点の位置が求められる。 l/l_r の計測結果の一例を第9図に示す。文献14)のシリーズ60の $C_b=0.7$ の船型の実験結果からは $l/l_r=0.679$ という値が得られるが、本稿の結果でも $l/l_r=0.7 \sim 0.8$ 程度の値が得られている。この結果によると、本稿で対象として

第8図 係数 k と横流れ角との関係
(プロペラのない場合)

第9図 操舵により船体に生ずる横力の作用位置の例 (模型船 (I))

第10図 係数 k に及ぼす舵面積、プロペラ荷重度の影響の例 (模型船 (IV))

いるようなタンカー船型の場合には、着力点の位置はほぼ船尾近くにあると見做してよいといえる。前述したように、(2)式の成立において着力点が舵軸位置にあると仮定したが、本稿のような極く近似的な取り扱いに対しては本質的な誤差の原因にはならないであろう。

模型船(I)と同船型でさらに大きい模型船(IV)を用いて、 k の値に及ぼす舵面積およびプロペラ荷重度の影響について調査しているの、その結果を第10図に示す。本図に見られるように、舵面積の影響については必ずしも一定の傾向は認められないが、プロペラ荷重度の影響については荷重度が大きくなるほど大きくなるという性質が明瞭に窺える。なお、本図の結果はさきに示した模型船(I)のそれと絶対値そのものについては幾分異なるが、実験条件が同一でないことや実験誤差を考えに入れると、この差異が模型船の大きさの影響をそのまま表わしているとはいえない。

5.2 船尾プロペラ背後の舵の直圧力

本稿では、(3)式の計算において船体背後の舵の直圧力は与えられたものとして、横流れ角 $\beta=0^\circ$ のときの実測値をそのまま用いるものとする。したがって、今後微係数に及ぼすプロペラ、舵の影響を計算だけで求める場合は、いずれかの方法で舵の直圧力を推定するという問題が残されることになる。第11図に舵の直圧力の計測結果の一例を示す。同図の C_N は船の前進速度 V で無次元化したものであるの、(3)式中の $(V_r/V)^2 C_\delta$ の値は

$$\left(\frac{V_r}{V}\right)^2 C_\delta = \frac{dC_N}{d\delta} \quad (7)$$

の関係によって同図のような C_N 曲線の勾配をそのまま

第11図 舵の直圧力の計測結果の例(模型船(II))

用いる。

6 微係数の推定値と実測値との比較

例として、模型船(I)、(II)の2つの模型船について、船体単独の場合とプロペラおよび舵を付けた場合の2つの状態で行なった強制ヨーイング試験の結果(swayingの片振幅0.2m, プロペラ回転数 $n/n_0=1$)を第12図に示す。ここで、 M_x' を元良の図表¹⁰⁾から推定して Y_r' を求めている。同図において、前者の場合の実測値の平均線を基にして第4.5章で述べた諸データを用いて(3)、(4)式から推定したプロペラ、舵のある場合の微係数と実測値との比較を行なっている。計算に使用した数値を第4表に示す。ここに示した試験結果は小振幅(pure swaying時の横流れ角の片振幅は $2^\circ \sim 10^\circ$ 程度)で行なったものであるの、整流係数 C の値は1.0とした¹²⁾。 $4Y_r'$ の値は実際には船型やプロペラの種類によって異なるであろうが、ここでは大略の値として船型により特に区別をせず、第2図の平均線の一定値を用いた。 k の値も横流れ角 β の関数として、たとえば平均的な β に対する値を用いればより合理的であるが、本稿では簡単な取り扱いを行なっている関係上 $\beta=0^\circ$ における値を使用した。

第12図の比較によると、(3)式による推定値はほぼ実測値を説明していること、(4)式による推定値は実測値よりもかなり小さめの値を与えることがわかる。(3)式における第3項のプロペラの寄与は、微係数の値の大きさそのものを問題にする場合は2次的であるので、この影響を考慮した場合としない場合の比較は省略しているが、この寄与がより実測値に近くなる方向に作用することは第12図から明らかである。(3)式の第2項、第3項すなわち船体運動によって舵、プロペラに生ずる横方向の力をそれぞれ仮りに舵力による成分、プロペラによる成分と呼ぶことにして、それぞれの割合を評価してみると第5表のようになる。同表によると、後者の成分は前者のそれの大略20%程度となっており、微係数の大きさそのものに与える影響は小さいにしても、前者の成分との比率を考える限りでは無視できる程度の大きさではないと考えられる。

従来舵に働く力の計算においては、プロペラの整流作用による舵への流入角の減少の効果は考慮されていても、それに伴って生ずるプロペラの横方向の力は無視されていた。以下に、さきに述べたデータに基づいて両者の効果を算定して比較してみる。今、簡単のため横流れ運動のみを考えることにすると、流入角の減少による舵直圧力の減少量は

$$F_R' = k \frac{A_r}{Ld} \left(\frac{V_r}{V}\right)^2 C_\delta (1-C) \beta \quad (8)$$

模 型 船 (I)

模 型 船 (II)

第 12 図 微係数に及ぼすプロペラ, 舵の影響の推定値と実測値との比較

第 4 表 微係数の推定計算に用いた数値

	模 型 船 (I)	模 型 船 (II)
$A_{r/Ld}$	0.01631	0.02020
$dC_N/d\delta$	1.650	1.662
C	1.0	1.0
$\Delta Y_{\beta}'$	0.008	0.008
k	1.33	1.28

と表わされ, またプロペラに生ずる横力を 4.2 で述べた記号を用いて

$$F_p' = \frac{dY_p'}{d\beta} \beta \quad (9)$$

と表わすと, これらの割合は第 6 表のようになる。ただし, この値は $\beta=10^\circ$ と仮定したときの値を使用している。この表によると, F_p' は F_R' よりも小さいが F_R' のほぼ 60% のオーダーとなっており, 両者の大きさの比率を問題にする限り無視できる量ではない。

第 5. a 表 微係数に及ぼすプロペラ、舵の影響
の割合 (模型船 (I))

	舵力による成分(1)	舵力による成分(2)	プロペラによる成分
Y_{β}' の補正量	0.0358	0.0269	0.008
Y_{β}', N_{β}' の補正量	0.0191	0.0144	0.00414
N_{β}' の補正量	0.0102	0.00766	0.00214

第 5. b 表 微係数に及ぼすプロペラ、舵の影響
の割合 (模型船 (II))

	舵力による成分(1)	舵力による成分(2)	プロペラによる成分
Y_{β}' の補正量	0.0430	0.0336	0.008
Y_{β}', N_{β}' の補正量	0.0234	0.0183	0.00422
N_{β}' の補正量	0.0128	0.00997	0.00223

註 舵力による成分 (1) : (2) 式の左辺の第 2 項

舵力による成分 (2) : 同項において $k=1$ とした場合

プロペラによる成分 : 同式の右辺の第 3 項

第 6 表 プロペラの整流作用による横方向
力の変化量

	模 型 船 (I)	模 型 船 (II)
$Y_{\delta}'(1-G)$	0.01253	0.01375
$(Y_{\delta}'(1-G))$	(0.00942)	(0.01074)
$\Delta Y_{\beta}'$	0.008	0.008
$(\Delta Y_{\beta}'/a\beta)$	(0.00228)	(0.00233)

7 結 言

タンカー船型を対象として操縦微係数に及ぼすプロペラ、舵の影響に関連したいくつかの問題について検討し、大約次のような結果を得た。

1) 船体単独の場合の微係数からプロペラおよび舵のある場合のそれを推定する 1 つの簡便法について検討し、このような推定の場合も、操舵によって船体に誘起される力やプロペラの作動によって生ずる力を考慮することにより、より正しい値が得られるという実験例を示した。

2) 船の運動によってプロペラに生ずる横方向の力は、舵に生ずる力と比べて、微係数の大きさそのものに与える影響としては 2 次的で小さいが、両者の大きさの比率を考える限りでは必ずしも無視できる程度の大きさではない。

3) 斜航する船体に取り付けられたプロペラに働く横方向の力を直接計測することを試み、いくつかの計測結果の例を示した。この力は、船体による整流効果を適当に仮定すれば文献 10) の計算式でほぼ推定できる。ま

た、プロペラ自身に働く力は、プロペラが微係数に及ぼす影響の中で必ずしも主要な成分であるとは限らない。

4) 従来、舵力の計算において無視されていたプロペラの整流作用に基づくプロペラに働く横力 (fin 効果) は、同作用に基づく舵への流入角の減少による舵力の減少量と比べて無視できない程度の大きさとなる。

5) 操舵によって船体に誘起される横力と舵に働くそれとの比に及ぼす横流れ角、舵面積、プロペラ荷重度の影響の実験例を示した。この比は横流れ角 β に対しても比較的大きい変化を示すが、 β そのものの影響のほかそれに伴うプロペラ特性の差異の影響も大きいと考えられる。

本稿を終えるに当たり、関連した問題をご討論いただき、種々のご教示を賜った試験水槽委員会第 2 部会の操縦運動の数学モデル検討グループの諸先生方に厚くお礼申し上げます。また、日頃ご指導をいただいている IHI 技術研究所の神中龍雄部長に感謝の意を表するとともに、ご援助をいただいた田崎 亮部長はじめ試験水槽の関係各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) たとえば, S. Motora & M. Fujino: On the Measurement of the Stability Derivatives by means of Forced Yawing Technique, 造船協会論文集, 第 118 号 (昭 40.12).
- 2) たとえば, H. Eda & C.L. Crane: Steering Characteristics of Ships in Calm Water and Waves, SNAME Vol.73 (1965).
- 3) C.C. Glansdorp & J.G.L. Pijfers: Effect of Design Modifications on the Natural Course Stability of Full Tanker Models, International Symposium on Directional Stability and Control of Bodies Moving in Water (1972).
- 4) 柏谷達男: 二軸船の船尾形状と進路安定性に関する一資料, 第 41 回試験水槽委員会第 2 部会資料, (昭 49.10).
- 5) 鳥野慶一: 操舵が船体に誘起する横方向の力について, 関西造船協会誌, 第 133 号 (昭 44.9).
- 6) 湯室彰規: 幅広大型タンカー船型の操縦性に関する研究 (2), 石川島播磨技報, 第 15 巻, 第 5 号 (昭 50.9).
- 7) 谷口 中, 渡辺恭二: 推進器の斜流特性に関する実験, 西部造船会々報, 第 8 号 (昭 29.8).
- 8) 小川陽弘, 辻 豊治, 森 政彦: 斜航するプロペラに働く横力に関する研究, 第 16 回船舶技術研究所研究発表会講演概要 (昭 45.10).
- 9) 湯室彰規: 斜航するプロペラに働く横力に関する実験例, 試験水槽委員会第 2 部会, 操縦運動の数学モデル検討会第 6 回資料 (昭 51.10).
- 10) F. Horn: Querkräfte am Propeller bei Schräganströmung, speziell bei Manöviervorgängen, Schiffstechnik Heft 20 Band 4 (1957).

- 11) 湯室彰規：操縦性指数の縮率影響の一推定法，日本造船学会論文集，第137号（昭50.6）.
 - 12) 湯室彰規：斜航する船体の舵位置における流向に関する実験的研究，石川島播磨技報，第14巻第4号（昭49.7）.
 - 13) 松本憲洋：旋回運動のシミュレーションについて，関西造船協会誌，第150号（昭48.9）.
 - 14) 野本謙作，鳥野慶一：新しい操縦性模型試験法，日本造船学会論文集，第126号（昭44.12）.
 - 15) 加藤洋治，元良誠三：フラップつき舵の研究（第1報：単独試験の結果），日本造船学会論文集，第124号（昭43.12）.
 - 16) 元良誠三：船体運動に対する付加質量および付加モーメントについて（その2），造船協会論文集，第106号（昭35.1）.
-