

プロペラ後流中における魚型水平断面舵に働く 流体力に関する研究

湯田 紀男*・山下 敏久*・岩崎 和志*・木原 米文*
伊藤 幸男*・伊藤 嘉基*・向井 利夫*

A Study on Hydrodynamic Forces Acting on the Rudder of Fish-Shape Section with End Plates in Propeller Slipstream

Norio Yuda*, Tosihisa Yamasita*, Kazusi Iwasaki*, Yonefumi Kihara*
and Yukio Itou*, Yosiki Itou*, Tosio Mukai*

Abstract

Recently the ship equipped scilling rudder is on increase. Generally, the scilling rudder is the fish-shape section with end-plates and provides high lift performance. The scilling rudder displays higher handling performance than the normal one, especially in berthing controls. In the model experiment the rudder of fish-shape section with end plates provide high-capacity lift. However, the mechanism bringing strong lift force even in large rudder angle is not entirely studied yet. To know the above mechanism will give useful suggestion and information to navigator, shipbuilder and marine engineer.

Until now, the authors tried to examine experimentally and computationally the relation between the shape of fishlike rudder section and hydrodynamic forces in uniform flow.

In this paper, the authors tries to examine experimentally the relation between the shape of fishlike rudder section and hydrodynamic forces in propeller slipstream.

Keywords : schilling rudder, rudder,, fish-shape section

キーワード : シリング舵、舵、魚型断面

1. はじめに

瀬戸内島嶼部，弓削島周辺の交通手段を考えると，生活において主要な交通手段は船舶である。渡船無しには島民の快適な生活を維持することは現状としては不可能である。そこで渡船にとって如何に乗りやすい船であるかということを考えてみると，それは必要以上の速さではなく，低速航行時における操縦性能が優れた船が望まれると考えられる。内航船舶，特に航行距離が短く低速航行，離着岸の多い船舶に必要な高揚力を発生する舵について検討する事は，弓削島周辺の瀬戸内に隣接する地域（中小造船業を含む）に対する貢献にも繋がるものと考えられる。

近年シリング舵と呼ばれる舵を装備した船舶が増

えてきている。シリング舵とは，上下端板や魚型断面を設けた高揚力を発生することのできる舵である。この舵は離着岸操船において通常舵と比べ性能の面で優れた舵であると言える。しかしながらこの舵が，大迎角時において如何に高揚力を発生させているかというメカニズムについては，詳しい研究検討がされているとは言えない。湯田⁽¹⁰⁾ (11) (12) (13)らはこの舵の高揚力発生メカニズムを知るため研究を続けてきた。その第一歩として，一様流中において数種の上下端板付魚型断面を持つ舵に働く流体力を計測し，舵断面形状と流体力との関係を模型実験により調査している。その実験結果からも，大迎角時において通常舵型より魚型断面舵の方が高揚力を発生することが言える。加えて，数値計算によりこ

の舵の高揚力発生メカニズムについて検討を行っている。加えて、一様流中において高揚力を発生する最適舵型の調査研究が行われている。一つ目にはテイル長変化による舵に働く流体力への影響であり、テイル長変化による舵に働く流体力を計測し、高揚力を発生するテイル長を調査した。二つ目には翼端幅変化による舵に働く流体力への影響であり、翼端幅変化による舵に働く流体力を計測し、高揚力を発生する翼端幅を調査した。

本研究は、一様流中大迎角において一番高揚力を発生した通常舵型模型と魚型水平断面舵型模型を用いて、プロペラ後流中においても魚型水平断面を持つ舵型の方が、通常舵型より高揚力を発生するのかわを確認するために、プロペラオープンボートを制作し、プロペラ後流中における舵模型に働く流体力の計測を行った。

2. プロペラオープンボートの製作

本校には実験に使用可能なオープンボートがないため、オープンボートの制作を行った。制作したオープンボートとプロペラ、シャフトの寸法等をFig. 1に示す。オープンボートは幅1.6D、縦8D、喫水は3.6Dである。

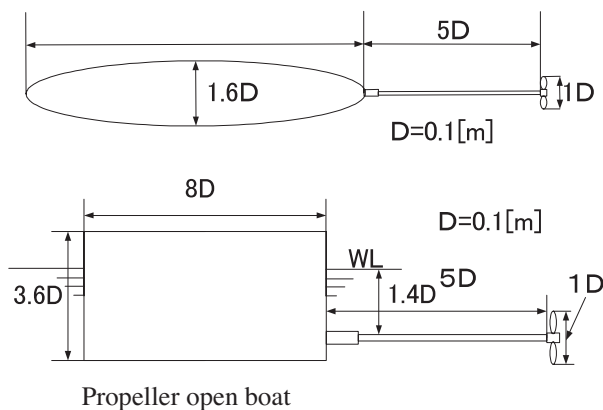


Fig.1 Experimental set

3. プロペラ単独試験

実験に使用するプロペラ模型の性能を知るために、プロペラ単独試験を行った。

実験装置は弓削商船高等専門学校の荒天航泊実験室内の研究用回流水槽で行った。回流水槽は幅1.2[m]、水深0.8[m]、計測洞は3[m]である。実験状態をFig.1に示す。Fig.1は実験装置上部及び実験装置側面から見た実験状態となっている。今回実験に使用したプロペラはプロペラ直径D=0.1[m]、ピッチ

は0.104D、4枚翼である。オープンボートは回流水槽の中央に固定した。オープンボートは幅1.6D、縦8D、喫水は3.6Dである。プロペラについてはオープンボート後端から水平に5Dの位置に装着した。またプロペラシャフトの直径0.07D、水面からシャフト中心までの距離1.3D、さらにオープンボートの底からシャフト中心までの距離を1.25Dとした。

実験は、オープンボート上部にモーターを設置し、オープンボート内の自航動力計の歯車へベルトを介してプロペラに回転を伝えるようにした。プロペラの回転数については、240 [rpm] 一定で流速を変化させ実験を行った。プロペラ単独試験の結果をFig.2に示す。縦軸はスラストTを無次元化した K_T 、トルクQを無次元化した K_Q 、横軸は流速Vを無次元化した前進常数Jを示している。スラストT、トルクQの無次元化および前進常数Jは下記のような式で行った。

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad J = \frac{V}{nD} \quad (3-1)$$

ここでDはプロペラ直径、 ρ は流体の密度、nは平均回転数、Vは回流水槽内の一様流速である。

シャフトが長く、またシャフトの直径が細いため、シャフトが振動を起こし、多少のデータのばらつきはあるものの有効なデータが取得でき、内航船舶用の中速船用のプロペラと同等の性能を持つプロペラ模型であると考えられる。

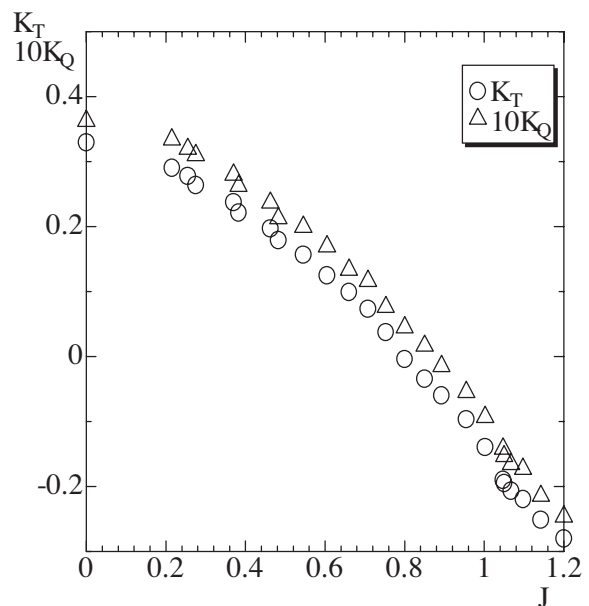


Fig.2 Experimental results of K_T and K_Q

4. プロペラ後流中試験

4. 1 実験装置及び実験状態

実験は、弓削商船高等専門学校にある荒天航泊実験室内の研究用回流水槽で行った。

実験装置はプロペラ単独試験に用いたオープンボートを使用した。ただしプロペラ単独試験において、プロペラシャフトが振動したために、プロペラをオープンボート後端から0.5Dの位置に装着し実験を行った。またプロペラから舵軸までの距離を1.36D、舵弦長は1.13Dとし、舵高さの1/2の位置が、プロペラボスの中心の位置になるように舵模型を設置した。実験で使用した舵模型及び端板をPhoto.1, Fig.3に示す。この舵模型については、これまでの一様流中において、一番高揚力を発生したF5（魚型水平断面を持つ舵模型）とW2（通常の翼型水平断面を持つ舵模型）である。実験状態はプロペラ後流中とし、プロペラの回転数については520 [rpm] 一定

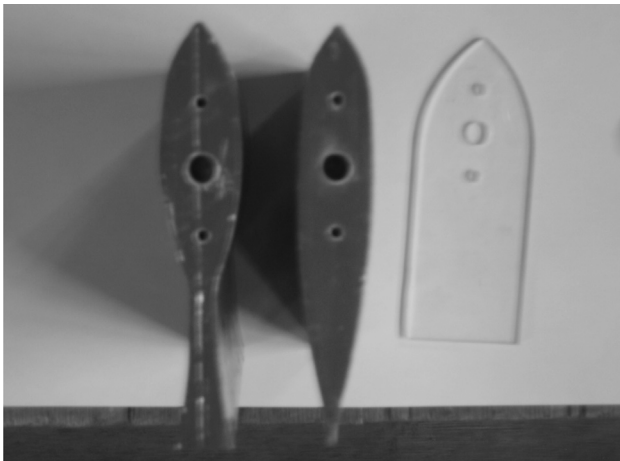


Photo.1 Rudder section

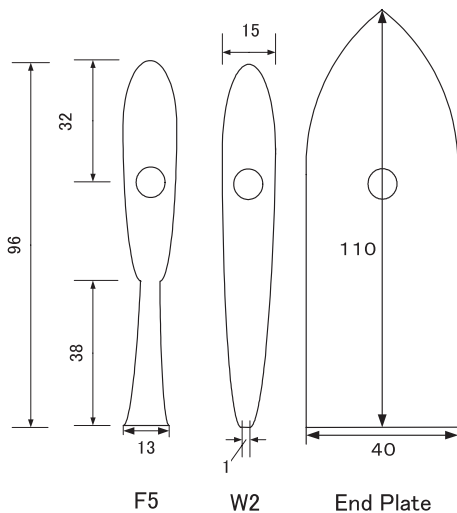


Fig.3 Rudder section

でプロペラ後流は舵模型のラダーストック位置での平均流速0.4 [m/s], 回流水槽の流速は0 [m/s], $J=0$ の状態で、舵模型の舵角 $\Theta=0\sim 90$ [deg.] まで変化させ全ての舵型に上下端板を付けた状態で舵模型に働く流体力を計測した。

流体力の計測は三分力計を用いた。計測した流体力は、プロペラシャフトに沿った方向 (X方向) の力 (抗力), このX方向垂直な方向 (Y方向) の力 (揚力) とラダーストックに働く舵軸モーメントを計測した。なお揚力, 抗力の計測値は舵軸に働く流体力を取り除き, それぞれの舵模型単独に働く流体力の計測を行った。計測における座標をFig.4に示す。

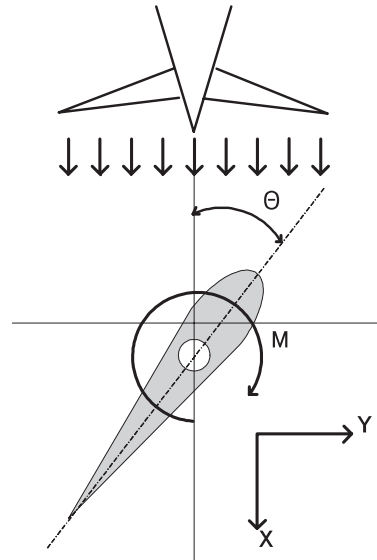


Fig.4 Coordinate system

4. 2 計測結果及び考察

計測した流体力については、縦軸に無次元化した揚力係数 C_L , 抗力係数 C_D および舵軸モーメント係数 C_M を示し、横軸に舵角を示した図を作成した。揚力係数 C_L と舵角の関係をFig.5に示す。抗力係数 C_D と舵角の関係をFig.6に示す。舵軸モーメント係数 C_M と舵角の関係をFig.7に示す。無次元化については、揚力及び抗力を $1/2\rho SV^2$ で除し、舵軸モーメントを $1/2\rho SV^2$ で除すことによって行った。 ρ は流体密度, S は舵面積, V はラダーストック位置での平均流速, C は舵弦長を示す。

揚力についてはFig.5より、舵角が増すにつれ徐々に揚力が大きくなり、F5は舵角約32.5 [deg.] 付近、W2は舵角約30 [deg.] 付近で失速し、後に減少する傾向となった。F5の最大揚力がW2の最大揚力より約20%程度大きくなる結果となった。また、失速後の舵角においては、W2よりもF5の方が高い揚力を発生する結果となった。

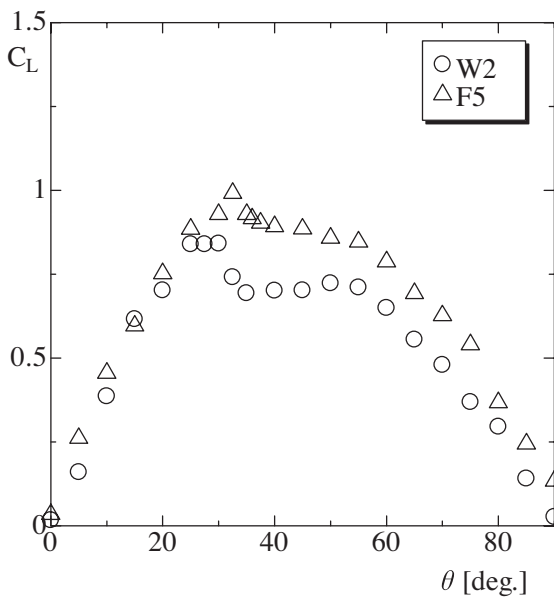


Fig.5 Lift coefficients

F5の最大揚力がW2の最大揚力より約20%程度大きくなる理由としては、一様流の流れに比べてプロペラ後流の螺旋流の流れ方が、F5の後縁付近でせき止められる状態となり、後縁部の圧力が上昇し、F5の方が高揚力を発生したのではないかと考えられる。また、舵角60 [deg.]を超える範囲においては、F5の方がW2より高い揚力を発生するのは、螺旋流の影響により、大迎角時においてF5の上流側面の上部にあるくぼみ部と端板の間の流れがせき止められ高圧となり、それが影響をもたらしているのではないかと考えられる。

抗力については、Fig.6より、舵角50 [deg.]付近までは、W2、F5共に同様に抗力は大きくなるが、舵角50 [deg.]を超える範囲においては、F5の方が抗力が大きくなる結果となった。

舵角60 [deg.]を超える範囲においてF5の方がW2より抗力が大きくなる傾向となった理由としては、揚力の考察と同様に、螺旋流の影響によりF5の上流側面のくぼみ部と端板により、流れがせき止められ高圧となり、その影響によりF5の方が抗力が大きくなったものと考えられる。

舵軸モーメントについてはFig.7より、W2においては、一様流中では失速後の舵軸モーメントの急激な跳躍があったものが、プロペラ後流中ではなく、舵角の回転回りに舵軸モーメントが働いた後、逆回りに舵軸モーメントが働く結果となった。F5については、舵角の小さい30 [deg.]までの範囲においては値の変化が微小となる傾向となった。さらに、舵角30 [deg.]～55 [deg.]の範囲においても、舵軸モーメントがほぼ変化しない結果となった。

W2において失速による急激な舵軸モーメントが

生じないのは、螺旋流の場合において、負圧面に流れが入り込んでいるために、一様流中程に舵側面の圧力中心の移動がないためではないかと考えられる。

F5において、舵角30 [deg.]付近まで舵軸モーメントにあまり変化を生じないのは、この舵角の範囲においても舵後縁のくぼみおよび端板の影響が大きく、前縁の正圧と後縁の正圧がつり合い、圧力中心の位置が変化しないのではないかと考えられる。また舵角30 [deg.]～55 [deg.]の範囲において、舵軸モーメントの変化が微小であるのは、失速後に一様流

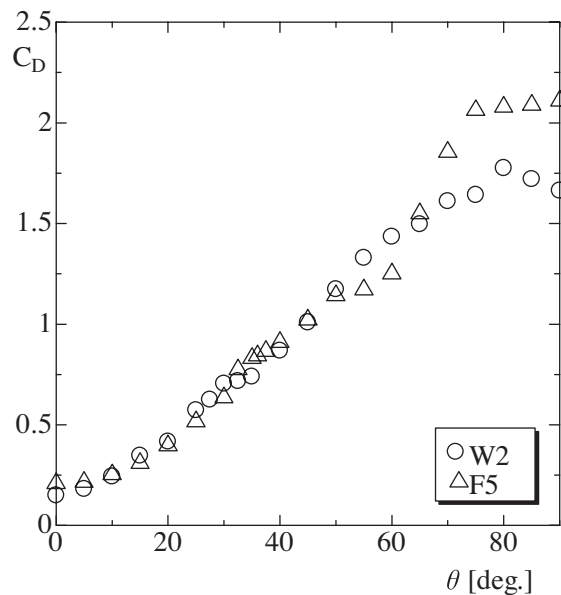


Fig.6 Drag coefficients

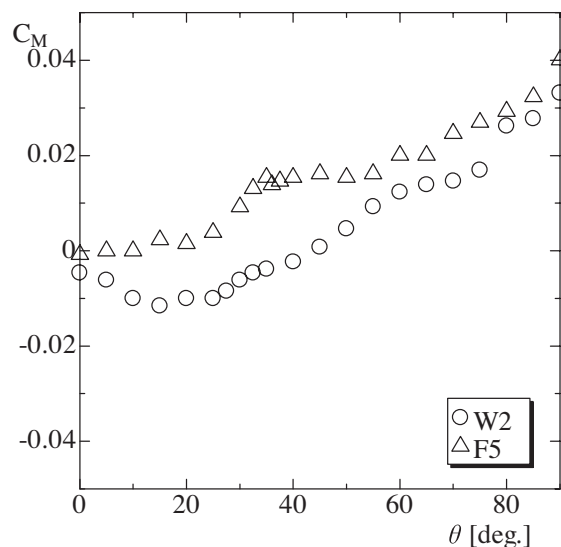


Fig.7 Moment coefficients

中においては、舵軸モーメントが大きくなるが、プロペラ後流の場合、舵角約40 [deg.] 付近で舵後縁がプロペラ後流域より離脱するために、後縁部の上流側面の圧力が減少し、圧力中心の移動が微小になったためではないかと考えられる。

5. まとめ

プロペラ後流中における舵に働く流体力を計測するため、プロペラオープンボートを制作した。

プロペラ模型の性能を知るためにプロペラ単独試験を行った。

一様流中と同様にプロペラ後流中において、大迎角時に通常舵型より魚型水平断面舵型の方が高揚力を発生する事を実験により確認することができた。

参考文献

- (1) 鍋島健治郎, 表正和, 上野章, 山本博敬, 森本考, 多田納久義: 新しい舵「ベックツイン」とこれを装備した船の操船実績について, 関西造船協会誌第228号, 1997
- (2) 船体周りの流れと流体力, 第3回推進性能研究委員会シンポジウム, (p173-156, III揚力を伴う流れ: 小山鴻一), 1989
- (3) 林正徳: 剥離流と離散渦について, ながれ5, p4-5, 1986
- (4) 湯田紀男: ベックツイン舵に働く流体力に関する数値計算-二次元一様流中-, 日本航海学会論文集, 第101号, pp307-315, 1999
- (5) 福谷恒男: 平行補助翼付舵の模型実験, 日本航海学会論文集, 第92号, pp205-211, 1995
- (6) 湯田紀男: 離散渦法によるベックツイン舵に働く流体力に関する数値計算, -二次元一様流中-, 関西造船協会誌, 第232号, pp83-92, 1999
- (7) 湯田紀男: ベックツイン舵に働く流体力に関する実験的研究, 日本航海学会論文集, 第102号, pp71-77, 2000
- (8) 福谷恒男: 平行補助翼付舵の模型実験, 日本航海学会論文集, 第104号, pp103-107, 2001
- (9) 福谷恒男: 推進性能に及ぼす平行補助翼付舵の影響, 日本航海学会論文集, 第107号, pp109-113, 2002
- (10) 湯田紀男, 猪俣活人: 上下端板付魚型水平断面舵に働く流体力に関する研究-模型実験による検討-, 第112号, pp361-365, 2005
- (11) 湯田紀男, 山下真史, 栗本裕和, 山下利久: 二枚舵に働く流体力に関する一考察-一様流中模型実験による検討-, 弓削商船高等専門学校紀

要第29号, pp7-12, 2007

- (12) 湯田紀男, 栗本裕和, 山下真史, 山下利久: 上下端板付魚型水平断面舵に働く流体力に関する一考察-数値計算による検討-, 弓削商船高等専門学校紀要第29号, pp1-6, 2007
- (13) 木村安宏, 山下真史, 湯田紀男: 上下端板付魚型水平断面舵に働く流体力に関する研究-II-テイル長と翼端幅の影響-, 日本航海学会論文集, 第119号, pp119-127, 2008

