

# 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 －

湯田 紀男\*・山下 真史\*\*・栗本 裕和\*\*・山下 敏久\*\*\*

# A Consideration on Hydrodynamic Forces Acting on the Rudder of Fish-Shape Section with End Plates

## -Based on Experiments Using Rudder Models-

Norio Yuda\*, Masafumi Yamashita\*\*, Hirokazu Kurimoto\*\* and Toshihisa Yamashita\*\*\*

### Abstract

Recently the ship equipped VecTwin Rudder system is on increase. VecTwin Rudder is provided by two rudders that is the fish-shape section with end-plates. The rudder has eleven typical operation modes. The operation modes can be done by keeping propeller rotating ahead. On a usual voyage the ship is piloted on parallel rudder angle to avoid any confusion in rudder indications. And also The ship has constantly the torque acting on the rudder stocks on a voyage, because the rudder horizontal section is the asymmetric fish-shape. The rudder is very convenient system for use, but the relation between the operation modes and a position of a ship's helm has not been known in detail. And also the relation between the shape of fishlike rudder section and hydrodynamic forces has not been known in detail.

In this paper, the authors tries to examine experimentally the relation between the shape of fishlike rudder section and hydrodynamic forces. In addition the authors examine the best possible combination of the rudder angles. And also the authors tries to examine experimentally the validity of the ship handling on parallel rudder angle.

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

**キーワード :** シリング舵, 舵, 流れの可視化, 魚型断面, 二枚舵

### 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。

近年, 低速での操縦性の優れた1軸2枚舵の船舶が増えてきつつある。しかしながら, この船舶における有効な舵角の組み合わせと舵に働く流体力の関係は湯田<sup>(7)</sup>により一部検討されているが未だ明らかにはされていない。1軸2枚舵の舵システムにはベックツイン

舵システムと言うものがある。ベックツイン舵とは非対称魚型断面形状を持つ二枚舵である。ベックツイン舵においては, 舵型が非対称な魚型断面形状であるために, 通常航行時, 舵をきっていない場合においても舵軸にモーメントが働いており, 操舵機には常に負荷が働いている。また, この船舶は通常航行時において, 操船者の舵角指示の混乱を避けるために平行舵角で操船を行っている。

本研究は, 舵模型を通常舵, 魚型舵, 非対称魚型舵の3種類制作し模型実験を行い, 一様流中における2枚舵それぞれに働く流体力を計測し, 通常航行時における平行舵角操船の妥当性を調べると共に, 前進モードにおける有効な舵角の組み合わせと有効な舵型を調査する事を目的とする。

\* 商船学科

\*\* 専攻科海上輸送システム工学専攻

\*\*\* 学生課実験実習第二係

## 2. 舵模型の製作と実験方法

### 2.1 舵模型の製作

舵模型は翼弦長0.113 [m], 舵高さ0.096 [m], アスペクト比1.177とし, いずれも上下端板付きとした。舵模型の断面は, No. 3として通常の舵型, この舵型はNACA0012をモデルとした舵型で対称翼型である。No. 2として魚型, この舵型はシリング舵形状に一番近い淡水魚のコイ科, サケ科の尾に似たラッパ形状の舵型であり, 以下の文において魚型とは, この対称形状の魚型を示す。No. 1としては非対称魚型, この舵型はNo. 2の断面形状を基本に, 片側の後縁部の尾の部分直線的にした舵型である。また全ての舵型において前縁部は同じ断面形状とした。これらの舵模型の舵型をFig.1に示す。舵模型の製作としては, 材料をアルミ板, 端板の材料をアクリル板としNCフライス盤により削り出し模型の制作を行った。

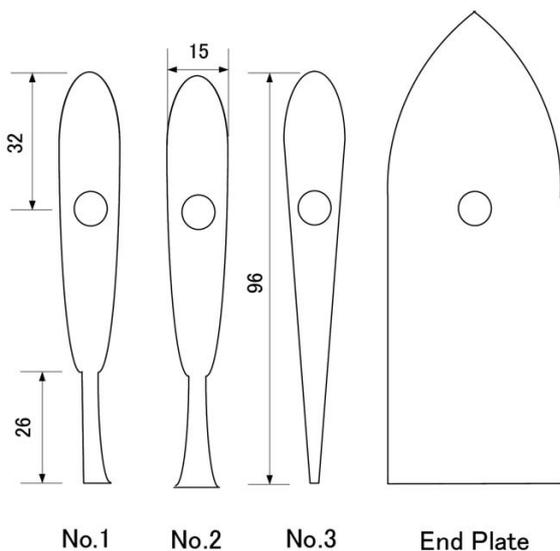


Fig.1 Rudder section

### 2.2 実験方法

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。回流水槽は幅1.2 [m], 水深0.8 [m], 計測洞は3 [m]である。

実験状態は一様流中とし, 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の計測を行った。舵模型は上端板が水深0.22 [m]の位置に設置し, 流体力の計測は三分力計を用いた。計測した流体力は, 流れに平行な方向 (X方向) の力 (抗力), 流れに垂直な方向 (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.2に示す。Port rudderの舵角を $B_p$ , Starboard rudderの舵角を $B_s$ とし時

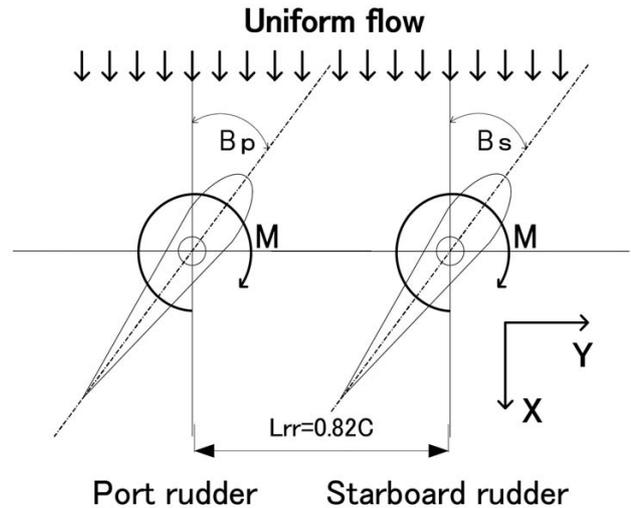


Fig.2 Coordinate system

計回りを正とした。また舵軸に働くモーメントも時計回りを正とした。計測時の舵軸間距離は0.82Cとし, 流速は0.8 [m/s]でレイノルズ数は $Rn=8.06 \times 10^4$ の状態で行った。ここでCは翼弦長を示す。

## 3. 計測結果

### 3.1 1枚舵単独性能

まずそれぞれの舵型の性能を知るために, 1枚舵単独の流体力の計測結果をFig.3, Fig.4, Fig.5に示す。Fig.3は揚力, Fig.4は抗力, Fig.5は舵軸モーメントと舵角の関係を示した図である。縦軸は揚力及び抗力を $1/2\rho SV^2$ で除した無次元値 $C_L, C_D$ を, また舵軸モーメントを $1/2\rho SV^2 C$ で除した無次元値 $C_M$ , 横軸は舵角 $\theta$ を示す。 $\rho$ は流体密度, Sは舵面積, Vは流速を示す。

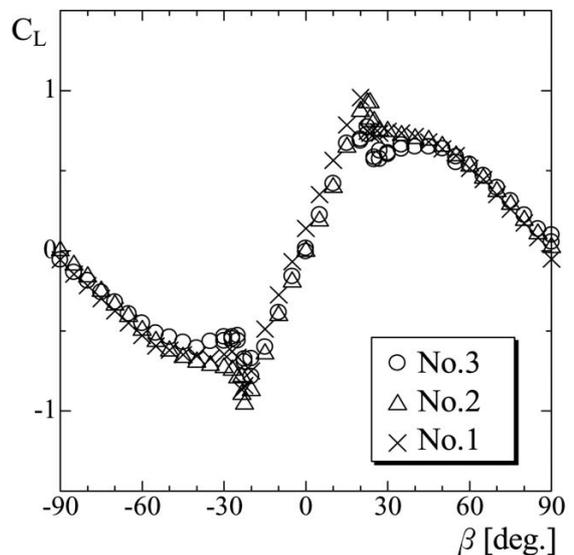


Fig.3 Lift coefficient (No.1 ~ 3)

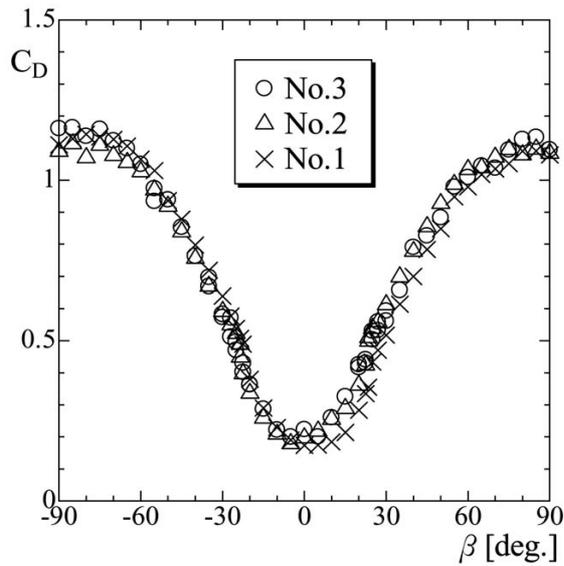


Fig.4 Drag coefficient (No. 1 ~ 3)

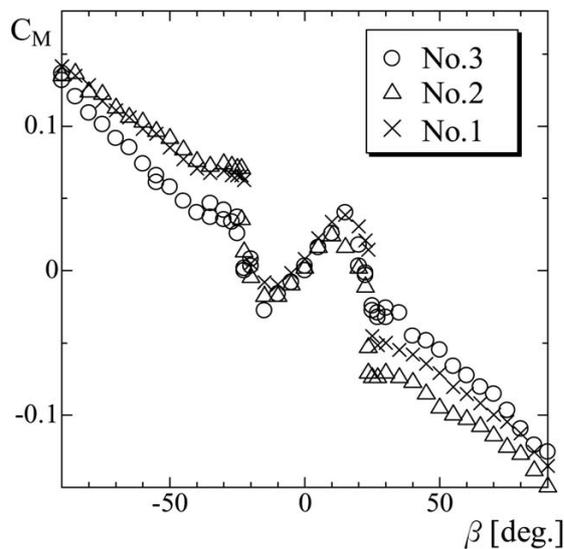


Fig.5 Moment coefficient (No. 1 ~ 3)

これらの図より舵角20~50 [deg.] 付近にかけて、魚型水平断面の舵形状の方が通常舵型形状のものよりも高揚力を発生していることが理解できる。また失速後の揚力の落差が魚型断面形状のものの方が小さい事が理解できる。抗力については、非対称魚型断面形状のものを除き、さほど差はない。また、舵軸モーメントについては、失速後に魚型断面形状のものが、通常舵形状のものより舵軸モーメントが働いている事が理解できる。

### 3. 2 平行舵角性能

2枚舵における平行舵角時の舵の性能を知るために舵角を0~50 [deg.] の範囲で変化させ舵に働く流体力を計測した。それぞれの舵に働く流体力と舵角 $\beta$  の関係を示した図をFig6, Fig7, Fig8に示す。

これらの図より揚力に注目してみると、舵角0~20

[deg.] の範囲では、2枚舵それぞれの舵に働く流体力は、非対称魚型を除き1枚舵における揚力とほぼ同じ値となった。この舵角の範囲においては、抗力及び舵軸モーメントにおいても、非対称魚型を除き1枚舵の場合とほぼ同様の傾向となった。また舵角20 [deg.] とは、1枚舵の場合の失速舵角であり、この舵角の範囲においては、2

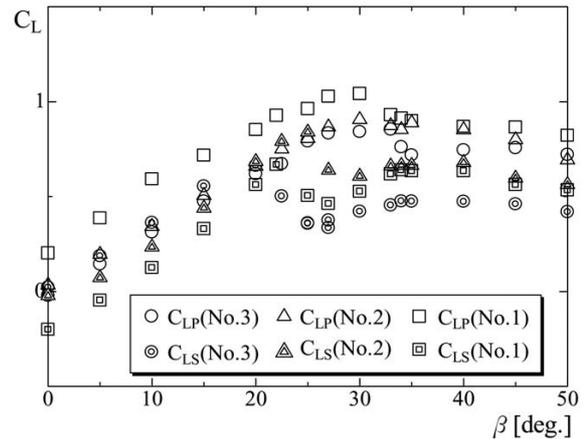


Fig.6 Lift coefficients (Parallel rudder angle)

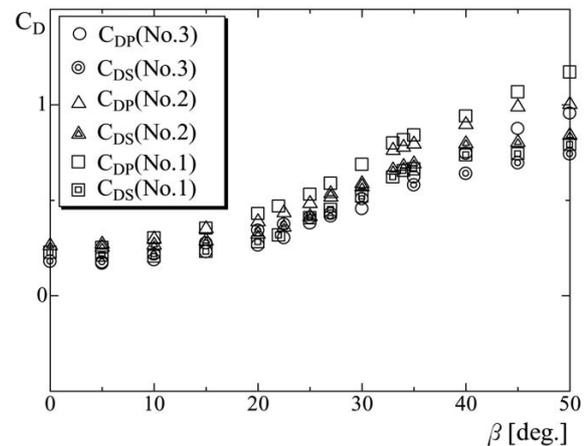


Fig.7 Drag coefficients (Parallel rudder angle)

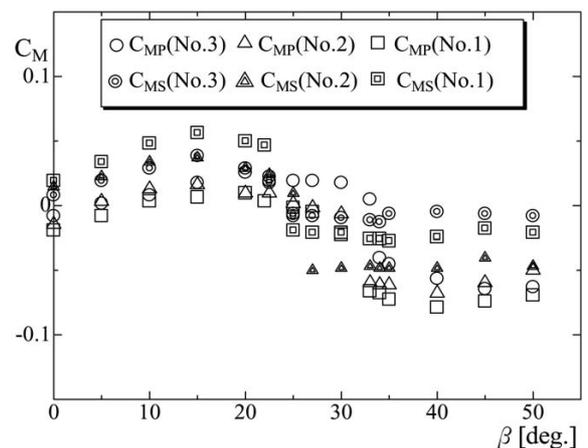


Fig.8 Moment coefficients (Parallel rudder angle)

枚の舵の相互干渉は微少であるものと考えられる。上記の事より、平行舵角操船は、1枚舵の失速舵角までの範囲であれば、1枚舵のほぼ2倍の揚力となり、両舵の負荷の差異を生じる事がない。加えて、通常、船舶は最大舵角が30[deg.]程度であるが、船舶の旋回時においては、船体は偏角を生じるため流体の舵に対する流入角は舵角より減少する。したがって平行舵角の操船は、通常航行時において有効な舵角の組み合わせであると考えられる。

3. 2 前進モードにおける有効な舵角の組み合わせ及び舵型の検討

出入港などの低速航行時における有効な舵角の組み合わせを知るために、前進モードにおける舵角の組み合わせの検討を行った。No. 3の通常舵型における揚力と舵角の関係を示した図をFig.9に示す。

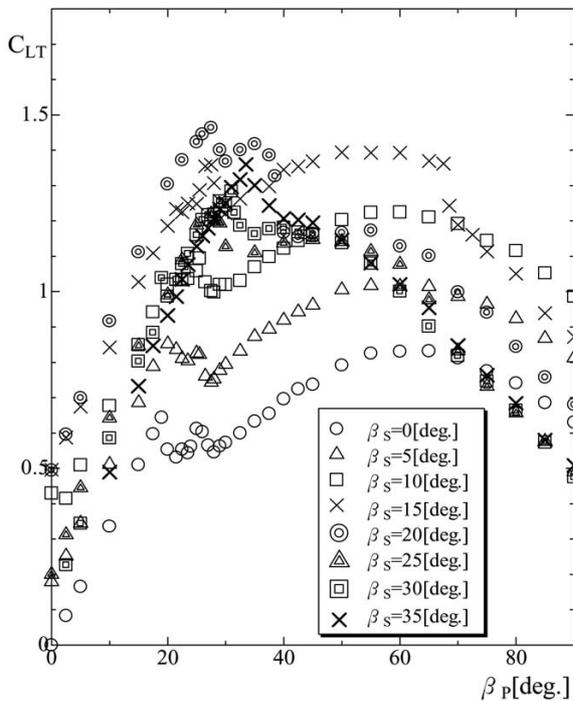


Fig.9 Total lift coefficients (No. 3)

Fig.9はStarboard rudderの舵角Bsを0~35[deg.]までの範囲で5度ずつ変化させ固定し、固定したBsに対してPort rudderの舵角Bpを0~90[deg.]まで変化させた場合の、両舵の揚力係数の和である全揚力係数 $C_{LT}$ と舵角 $B_p$ の関係を示した図である。

この図より、高揚力を発生する舵角の組み合わせの条件は、 $B_p$ が0~40[deg.]付近の範囲においては、 $B_s$ を1枚舵単独の失速舵角20[deg.]に固定した場合となった。 $B_p$ が40~70[deg.]付近の範囲においては、 $B_s$ を15[deg.]に固定した場合となった。また $B_p$ が70~90[deg.]の範囲においては、 $B_s$ を10[deg.]に固定した場合となった。この結果は、舵角 $B_p$ の小さい範囲では、Starboard

rudderを1枚舵単独時の失速舵角直前に設定することにより高揚力を発生する。また舵角 $B_p$ の大きい範囲では、Starboard rudderの舵角 $B_s$ が1枚舵単独の失速舵角より小さくすることにより、Starboard rudderにおいては、Port rudder前縁からの剥離域の影響を生じることなく、 $C_{LS}$ (Starboard rudderの揚力係数)の低下を防ぐことができるためではないかと考えられる。

有効な舵角の組み合わせを検討する上で、舵型の違いによる影響を調べるために、Fig.9より高揚力を発生した舵角の組み合わせである $B_s=20$ [deg.]に固定した場合の舵角の組み合わせについて着目する。3種類(No.1~No.3)の舵型について、 $B_s$ を20[deg.]に固定し、 $B_p$ を0~90[deg.]に変化させた場合の揚力係数をFig.10, Fig.11, 抗力係数をFig.12, モーメント係数をFig.13に示す。

Fig.10よりPort rudderの揚力係数 $C_{LP}$ は3種類共にほぼ同じ傾向となる。Starboard rudderの揚力係数 $C_{LS}$ は

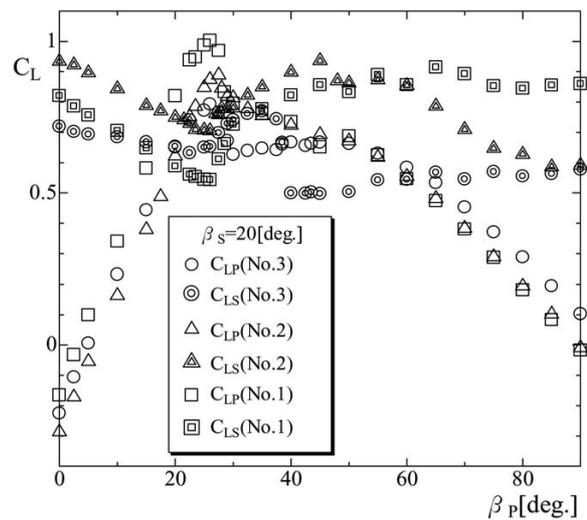


Fig.10 Lift coefficients

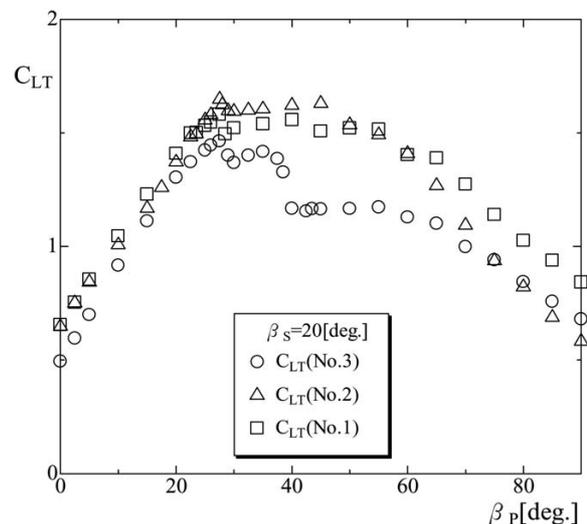


Fig.11 Total lift coefficients

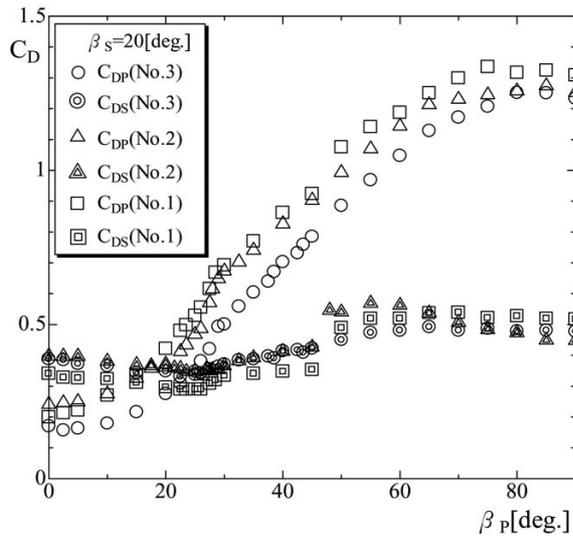


Fig.12 Drag coefficients

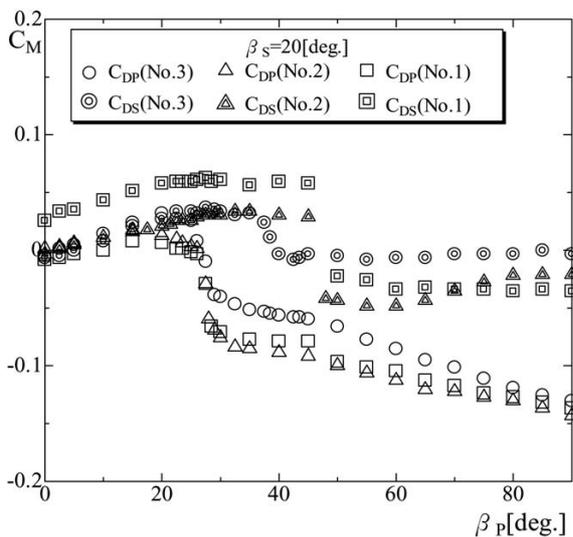


Fig.13 Moment coefficients

$\beta_S$ が20 [deg.]に固定されているにも拘らず、No. 3の通常舵型は40 [deg.]手前で急激に失速する。No. 2の対称魚型は60 [deg.]付近から徐々に減少する。No. 1の非対称魚型は顕著な失速の傾向はないという計測結果となった。これら $C_{LP}$ と $C_{LS}$ の和である全揚力係数 $C_{LT}$ を示した図がFig.11である。この図より $\beta_P$ が25 [deg.]手前の舵角までは、3種類の舵型共に同様の傾向となり、非対称を含めた魚型形状の舵型の方が高揚力を発生することが理解できる。舵角 $\beta_P$ が25 [deg.]～60 [deg.]の範囲においては、魚型が高揚力を発生する。また、舵角 $\beta_P$ が60 [deg.]を超える範囲においては、非対称魚型形状のものが高揚力を発生することが理解できる。

抗力についてはFig.12より、3種類の舵型共に同様の傾向となるが、非対称を含めた魚型形状のものが多少高い高揚力を発生することが理解できる。

舵軸モーメントについてはFig.13より、舵角 $\beta_P$ が20

[deg.]付近までは、非対称魚型を除くと両舵に働く舵軸モーメントの傾向はほぼ等しく値も小さい。舵角 $\beta_P$ が20 [deg.]を超える範囲において、それぞれの舵軸に働くモーメントに差異が生じる事が理解できる。また、この舵角の組み合わせの全舵角の範囲において、非対称魚型形状に働く舵軸モーメントは、通常舵型形状のものより大きく作用する事が理解できる。加えて舵角 $\beta_P$ が20 [deg.]を超える範囲において魚型形状のものは、通常舵型形状のものより大きく舵軸モーメントが働いている事が理解できる。

## 5. まとめ

通常航行時における舵角の使用範囲において、平行舵角による操船は妥当であるという事を模型実験により示すことができた。

1枚舵単独による失速角を知ることにより、2枚舵の前進モードにおける有効な舵角の組み合わせを予測できること示すことができた。

2枚舵においては、通常の舵型より非対称を含めた魚型舵の方が高揚力を発生することを模型実験により確認することができた。

## 謝 辞

本研究の実験装置の製作に協力して頂いた、弓削商船高等専門学校第1及び第2実習系の皆さんにお礼申し上げます。本研究を行うにあたり貴重なご助言を頂きました、大阪大学大学院船舶海洋工学科教授長谷川和彦先生、神戸大学海事科学部教授定兼廣行先生に感謝の意を表します。

## 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—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—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