縦湾曲 V 型オッターボードの流体特性^{*1}

松田 駿, 胡 夫祥, 石沢 聡

(1990 年 6 月 8 日受付)

Hydrodynamic Characteristics of Vertical V Type Otter Board

Ko Matuda,^{*2} Hu Fuxiang^{*2} and Satoshi Ishizawa^{*2}

The hydrodynamic characteristics of a vertical V type otter board, which has been widely used recently by Japanese trawlers, were studied using a model with a dihedral angle and a sweepback angle. The model with 309 cm² wing area and 14.1% camber ratio were rigged for an attack angle ranging from -5° to 90°. The lift, drag and moment were measured by a three-component balance on a circulating water tank. Results showed that the maximum lift coefficient was 1.27 while the maximum lift-drag ratio was 4.03 when the stall angle was 22°. The range of the common attack angle sustaining 75% of maximum lift-drag ratio was comparatively wide (17°), and variation of the coefficient of pressure center was only 10%. It follows that this type of otter board is of good stability.

縦湾曲 V 型オッターボードは、縦湾曲板に上反角および後退角を付けた特殊な形態をしたオッターボードで、底層トロールばかりでなく中層トロールでも安定性に優れているところから、近年日本のトロール船に広く普及しつつある。しかし、その性能についてはまだ十分明らかにされていない。そこで、本研究では、東京水産大学の練習船神鷹丸に採用されている縦湾曲 V 型のオッターボードの約 12 の 1 の模型により水槽実験を行い、揚力、抗力とモーメント係数および圧力中心係数などの流体力学的な特性を明らかにした。

実験方法

実験に用いた縦湾曲 V 型オッターボードの模型は、翼幅 (b) 22.7 cm, 翼面積 (S) 309 cm², 縦横比 1.67, キャンバー 14.1%, 上反角 (Γ) 12°, 後退角 (λ) 15° である。またモーメント係数や圧力中心係数を求める代表弦長として、幾何平均弦長 c_g を用いた。なお、後退角は前縁における後退角をとっている。模型にはブラケットなどの付属品を付けてある。その模式図を Fig. 1 に示す。

Fig. 2 は実験時に用いた計測システムの概略図である。オッターボードの模型は同図に示すように、上端部の前縁で直径 12 mm, 長さ 20 cm の支持棒と接続され、計測時は支持棒にかかる流体抵抗を避けるため、その外側に流線形の鞘で覆ってある。模型の中心位置は水深 40 cm の水路中心になるように設置した。また流速計は模型と同じ水深で、模型から上流 1.5 m, 水路中心から 30

cm 離して設置した。揚力、抗力およびモーメントの測定は Fig. 2 に示すように、支持棒を動ひずみ三分力検力計に接続することにより行った。各測定値は流速と共に約 25 秒 (500 個) のデータをデジタルボルトメータを通してコンピュータに入力し、その平均値を用いた。ただし、測定されたモーメントは Fig. 2 から分かるように、幾何平均翼弦上の前縁から a (幾何平均翼弦の前縁と支持棒中心軸との距離) だけ後退した支持棒中心軸回りのモーメントである。

実験は、まず右舷側のオッターボードを用い、迎角を -5°~40° まで 5° ずつ、40°~90° まで 10° ずつ変化させた。なお、最大揚力の得られる迎角については予め測定しておき、その迎角近傍を 2° ごとに変化させたため、計 17 段階となった。また左舷側のオッターボードについても、実験の精度を検証する意味で、設定流速をほぼ 5 cm/s ずらし、右舷側のオッターボードと異なる迎角について測定した。

東京水産大学の回流水槽 (観測部長さ 7 m, 水路幅 1.45 m, 常用水深 1.2 m) で実験を行った。流速の測定にはプロベラ型流速計を用い、流速の範囲を 20~120 cm/s で実施した。実験時の水温は 21.8~28.5°C であった。

実験結果および考察

揚力、抗力およびモーメント係数とレイノルズ数との関係 右舷側のオッターボード模型について、実験で得られた揚力、抗力およびモーメントがいずれも流速のべ

^{*1} 本論文の要旨は平成元年度日本水産学会年会 (宮崎) において報告した。

^{*2} 東京水産大学 (Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108, Japan).

Fig. 1. Schematic diagram of the vertical V type otter board model with a dihedral angle and a sweepback angle.

Fig. 2. Facilities for measuring the lift, drag and moment of the vertical V type otter board.

きに比例すると仮定して、それらのべき数を最小自乗法で求めたところ、揚力では迎角 0° を除いて、2.06-2.12 の範囲であり、抗力では 1.99-2.10 の範囲であり、また

モーメントも迎角 0° を除いて、1.92-2.06 の範囲である。揚力およびモーメントの迎角 0° におけるべき数が両方とも 2.30 になった原因は、それらの絶対値が小さいことにあると思われる。以上の結果から、今回の実験で得られた揚力、抗力およびモーメントはほぼ流速の 2 乗に比例すると考えられる。そこで、模型の揚力係数 C_L 、抗力係数 C_D およびモーメント係数 C_M をそれぞれ

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (1)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \quad (2)$$

$$C_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho V^2 S c_0} \quad (3)$$

で求める。ここで、 ρ は水の密度、 V は流速、 S はオッターボードの翼面積、 c_0 は幾何平均弦長、 L 、 D および M はそれぞれ揚力、抗力およびモーメントである。得られた揚力係数、抗力係数およびモーメント係数と幾何平均弦長 c_0 を代表長さとするレイノルズ数 $R_0 = c_0 V / \nu$ (ν は動粘性係数) との関係をそれぞれ Fig. 3~5 に示した。Fig. 3 から、揚力係数は迎角 $\alpha < 10^\circ$ において、レイノルズ数の小さな領域 ($R_0 < 0.5 \times 10^5$) で、レイノルズ数が大きくなるにつれてわずかに増加する傾向を示し、レイノルズ数 $R_0 = 0.5 \times 10^5$ を越えると、失速直前の迎角 20° を除いてほとんど変化がなくなっていることが分かる。この原因は流速の増大と共に、オッターボードの裏面における剥離位置が後退することにあるのではないかと考えられる。次に、Fig. 4 の抗力係数は、同じ迎角に対し

Fig. 3. Relation between lift coefficient and Reynolds number of the otter board with an attack angle of between 0° and 80°.

Fig. 4. Relation between drag coefficient and Reynolds number of the otter board with an attack angle of between 0° and 80°.

Fig. 5. Relation between moment coefficient and Reynolds number of the otter board with an attack angle of between 0° and 80°.

て、 $\alpha \leq 40^\circ$ でほぼ一定値を示し、 α が 40° を越えてからややばらつきが見られる。しかし、全般的にみて、迎角が同じであれば抗力係数はレイノルズ数によらず、ほぼ一定であることが認められる。またモーメント係数については Fig. 5 から、同じ迎角のとき、レイノルズ数の小さな領域 ($R_0 < 0.6 \times 10^5$) で、迎角 $\alpha \leq 10^\circ$ に対しては増加、 $\alpha \geq 20^\circ$ に対しては減少する傾向が見られるが、 $R_0 = 0.6 \times 10^5$ を過ぎるとほぼ一定の値を示す。

以上の結果より、迎角が同じであれば、各流体力係数はレイノルズ数 $0.6 \times 10^5 \sim 1.8 \times 10^5$ の範囲 ($V = 40 \sim 120$ cm/s) で、ほぼ一定の値を示すことが分かった。以下に、各流体力係数として、40 cm/s 以上の流速範囲についてそれぞれ迎角ごとの平均値を求め、これらを採用することにした。

揚力係数、抗力係数およびモーメント係数と迎角との関係 まず揚力係数と迎角との関係を Fig. 6 に示す。図中の ● のプロットは右舷側、○ のプロットは左舷側のオッターボードの結果（以下同）を示し、ほぼ同一曲線上に載っていることが分かる。このことから、左右のオッターボード模型の製作精度および実験精度の良さが検証されたことになるであろう。同図から、最大揚力係数の値は 1.27 で、このときの失速角（失速を起し始める迎角） α_s は 22° である。また、揚力係数が 0 となる迎角、ゼロ揚力角 α_0 が -5° 近傍にあることが分かる。失速時における揚力係数の減少値は 0.36 程度で、失速後の揚力係数は迎角 $\alpha = 40^\circ$ を過ぎるまでは、ほぼ一定の値であることが分かった。また迎角に対する揚力係数の増加は一般に揚力傾斜と呼ばれるが、この値が大きいほど揚力係数の最大値を示す迎角が小さくなる。Fig. 6 から、揚力係数は迎角 $\alpha = -5^\circ \sim 10^\circ$ において、直線的に増加することが考えられるため、近似的に揚力傾斜 $m (= dC_L/d\alpha)$ を最小 2 乗法により求めたところ、 $m = 3.667 (1/\text{rad})$ となった。飛行機の翼の場合では、後退角を与えることによって、揚力傾斜が緩やかになり、つまり衝撃失速を遅らせる効果があると言われている。²⁾ しかし、今回の実験結果から縦湾曲 V 型オッターボードでは、使用速度が低いため、同じ縦横比の縦湾曲板の結果 ($m = 3.094 (1/\text{rad})$)* と比べ、後退角の効果はほとんど認められなかった。

Fig. 7 に、抗力係数と迎角との関係を示す。同図から抗力係数の値は $\alpha = -5^\circ$ で最小値 0.09、 $\alpha = 22^\circ$ で 0.43 であった。抗力係数は迎角の増加に対し、S 字状に増大することが分かる。また、失速後の抗力係数の増加は $\alpha = 25^\circ \sim 30^\circ$ で一旦ゆるやかになり、その後また増加していることが観察されていた。

次に、揚抗比と迎角との関係を Fig. 8 に示す。図中の

Fig. 6. Lift coefficient of otter board as a function of the attack angle. Closed circles show the starboard side while open circles show the port side.

Fig. 7. Drag coefficient of otter board as a function of the attack angle. Closed circles show the starboard side while open circles show the port side.

● のプロットで示されている右舷側のオッターボードの最大揚抗比は $\alpha = 10^\circ$ で 4.03 であった。左右のオッターボードの最大揚抗比およびそれを得る迎角の間に多少差が生じたのは、最大揚抗比を得る迎角近傍では大きく揚抗力が変化するためと考えられる。また右舷側のオッターボードについて、常用迎角領域¹⁾を求めたところ、最大揚抗比 4.03 の 75% 以上を保つ迎角の範囲は 17° ($\alpha = 2^\circ \sim 19^\circ$) であった。実際の操業船で設定されている常用迎角は失速後の迎角が採用されていることはないと考え

* 石沢 聡：オッターボードの流体特性に関する基礎的研究，東京水産大学大学院，修士論文，1989，pp. 8-33.

Fig. 8. Lift-drag ratio of otter board as a function of the attack angle. Closed circles show the starboard side while open circles show the port side.

Fig. 9. Moment coefficient of otter board as a function of the attack angle. Closed circles show the starboard side while open circles show the port side.

えられ、また最大揚抗比を得る迎角より小さな迎角についても、揚力係数が低すぎるため目的を達せられないと思われる。従って、設定される常用迎角の範囲を最大揚抗比を得る迎角から失速角までと仮定すると、揚抗比は充分高い範囲内にあると考えられる。

モーメント係数と迎角との関係を Fig. 9 に示す。前に述べたように、支持棒の中心軸と幾何平均翼弦の前縁が一致しないため、得られるモーメントは $a/c_0 (\approx 1/10)$ 翼弦まわりのモーメントで、その係数は $C_M(a/c_0)$ と表せ

Fig. 10. Relation between the coefficient of pressure center and the attack angle for the otter board. Closed circles show the starboard side while open circles show the port side.

る。Fig. 9 から分かるように、モーメント係数は迎角 25° までは急速に増加するが、迎角 50° を過ぎるとほとんど変化しないようである。また迎角 30° 前後ではわずかなが、モーメント係数が減少する傾向が見られる。この迎角は Fig. 6 から分かるように、失速後の迎角に一致している。

圧力中心係数の迎角による変化 圧力中心係数 C_P は流体合力の作用する圧力中心の位置を相対的に表したもので、普通弦長に対する翼前縁から圧力中心までの距離の比で表される。²⁾ しかし、今回の実験では、支持棒が幾何平均翼弦の前縁から a だけ離して取付けたため、圧力中心係数は

$$C_P = \frac{d-a}{c_0} \quad (4)$$

となる。ここに、 d は幾何平均翼弦の前縁から圧力中心までの距離である。このようにして求められた圧力中心係数の迎角に対する変化を Fig. 10 に示す。同図より圧力中心の位置は、最大揚力が発生する失速角 $\alpha_s = 22^\circ$ 近傍で最も前縁よりに移動し ($C_P = 0.26$)、失速角を過ぎると移動しなくなり、平均値は約 0.34 である。なお、前に述べた a/c_0 は約 $1/10$ であるので、前縁からの圧力中心位置に換算するには、図中の圧力中心係数に 0.1 を加えればよいであろう。

操業時における圧力中心位置の迎角に対する変動が少ないほど安定的な網口幅が得られる、つまりオッターボードの安定性が高いと考えられる。ここで、最大揚抗比の得られる迎角から失速角までの迎角範囲について、圧力中心係数の平均値とこの平均値からの圧力中心係数曲

線のずれを偏差として弦長上における圧力中心位置の変動係数を求めたところ、約 9.65% となった。これは本研究に用いた縦湾曲 V 型オッターボードのキャンパーにはほぼ対応する、林ら³⁾の報告したキャンパー 15% の円型オッターボードの結果とほぼ同程度であった。

以上の結果から、縦湾曲 V 型オッターボードの流体特性として以下のようにまとめることができる。

1. オッターボードの性能として、もっとも重要とされる揚力特性は、失速角 22° で最大揚力係数 $C_{Lmax} = 1.27$ を示し、その時の抗力係数は 0.48 を示した。また最大揚抗比 4.03 の 75% 以上を維持し得る常用迎角領域は 17° で、他のタイプに比べて広いことが認められた。

2. 最大揚抗比の得られる迎角から失速角までの迎角範囲において、圧力中心係数から求められた圧力中心位置の変動係数は約 10% となった。このことから、操業時におけるオッターボードの設定迎角がもし上記の範囲内にあるとすれば、圧力中心位置の変動は小さく安定性が良い。

3. 航空力学の分野では、翼の衝撃失速を遅らせる手段として、翼に後退角を付ける方法が取られているが、縦湾曲 V 型オッターボードについて、 15° の後退角が付いているが、今回の実験結果から、その効果はほとんど認められなかった。

本研究を行うにあたり、実験に使用した縦湾曲 V 型オッターボードの模型の製作に便宜を計っていただいたニチモウ株式会社の水上洋一氏に心から御礼申し上げる。

文 献

- 1) 松田 皎, 胡 夫祥, 石沢 聡: 日水誌, 55, 1927-1934 (1989).
- 2) 牧野光雄: 航空力学の基礎, 産業図書, 東京, 1989, pp. 79-165.
- 3) 林 俊辰, 梨本勝昭, 山本勝太郎: 日水誌, 55, 1915-1919 (1989).