

クランクベイトルアーの流体力特性に及ぼす リップ縦横比の影響

臺田 望,^a 稲田博史,* 胡 夫祥, 酒井拓宏^b

(2001年12月28日受付, 2002年5月23日受理)

東京水産大学海洋生産学科

Hydrodynamic characteristics of crank bait lure changed by the aspect ratio of the lip

NOZOMU DAIDA,^a HIROSHI INADA,* FUXIANG HU AND TAKUHIRO SAKAI^b

Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

Flume tank experiments were conducted to clarify the relationship among lip shape, sinking force, drag and center of pressure for crank bait lures. The experimental lure-lips were made up with the same area and with different aspect ratio ($\lambda_L = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$) in the plane view. Sinking force, drag and moment of the model lures were measured with the six components load cell in the flume tank. Drag coefficient did not change significantly with a different λ_L . When the aspect ratios of the lip λ_L were changed from 0.3 to 2.0, the maximum sinking force coefficient was increased from 0.55 to 0.82. Here, the center of pressure coefficient C_p was decreased and the center of pressure moved toward the front of model lures at the same attack angle. From these results and a viewpoint of the lure design, the diving depth and the ratio of sinking force to drag can be increased by enlarging the aspect ratio λ_L within the range of $0.3 \leq \lambda_L \leq 2.0$.

キーワード：ルアー，クランクベイト，リップ，縦横比，潜行力，抗力，潜行抗力比，圧力中心

ルアーフィッシングに使用されるリップ付きハードルアー，特にクランクベイトタイプルアー（以下，本論文中的「ルアー」はこのタイプのもを示す）の特徴は，扁平構造のリップと立体形状のボディで構成され，リトリブすなわちラインの巻き取りによって振動しながら潜行することである。^{1,2)} クランクベイトは比重が1より小さいフローティングタイプであり，流線型のボディから得られる潜行力は小さいため，潜行板の役目を果たすリップが装着されている。現在市販されているルアーは用途に応じて様々な形状のものが存在するが，その中で，クランクベイトタイプルアーは他のタイプのルアーに比べて相対的に深い深度に潜行させることが使用目的の一つとされている。このためにクランクベイトは潜行板の役目を果たすリップの面積が他タイプのルアーよりも大きいことが特徴である。クランクベイトをリトリブすると，このリップが受ける流体力の影響でタイドアイを介して接続されたラインにかかる張力が他タイプの

ルアーよりも一般的に大きくなる。したがって，リトリブが頻繁に繰り返される実際のルアーフィッシングにおいて，使用者の負荷を軽減し，対象魚のアタック反応（アタリまたは魚信）を高精度で検出するためにも，リトリブ時のライン張力が小さいことはルアーに求められる性能の一つである。したがって，クランクベイトの設計に際しては，潜行力を大きくするとともに抗力を小さくする必要がある。

これまでの研究¹⁻³⁾では，リップの形状やこのリップ上に取り付けるタイドアイの位置がクランクベイトの潜行時の姿勢や潜行深度に影響を及ぼすことが明らかにされている。今後，さらにリトリブ時の運動特性を把握し，潜行深度の大きなクランクベイトを開発するには，リップ形状の異なるクランクベイトの潜行力や抗力などの流体力を明らかにする必要がある。

オッターボードの研究においては，その平面形状を表す縦横比が揚抗力特性に大きく影響を及ぼすことが報告

* Tel : 81-3-5463-0476. Fax : 81-3-5463-0692. Email : inadah@tokyo-u-fish.ac.jp

^a 現所属：鵜拓洋理研 (Takuyo Riken Co., Ltd., Fukuoka 810-0073, Japan)

^b 現所属：鵜海洋水産システム協会 (Fishing Boat and System Engineering Association, Tokyo 105-0001, Japan)

Table 1. Specifications of model lures and flat plate used in the experiments

Experimental models	Type	Lip length L_p (mm)	Lip width L_a (mm)	Length overall L_o (mm)	Nominal aspect ratio	
					λ_L ($=L_a/L_p$)	λ ($=L_a^2/S$)
A	Lure	280	80	560	0.29 (≈ 0.3)	0.14
B	Lure	202	104	482	0.5	0.25
C	Lure	148	148	428	1.0	0.49
D	Lure	124	184	404	1.5	0.75
E	Lure	104	212	384	2.0	1.01
F	Flat plate	—	80	560	—	0.14

λ_L shows the ratio of the lip width (L_a) to lip length (L_p) on the plane view of the lure in Fig. 1.

λ shows the ratio of the lip width squared (L_a^2) to the projected area (S) on the plane view of the lure and flat plate in Fig. 1.

されている。⁴⁾そこで本研究では、クランクベイトのリップ形状による流体力特性の変化を明らかにするために、クランクベイト型ルアーのボディ形状とリップの面積をそれぞれ一定とした拡大模型を作製し、回流水槽において、リップの縦横比がルアーの流体力特性に及ぼす影響を調べた。併せて、供試模型と縦横比 λ が等しい平板の流体力を測定し、ルアーボディの流体力特性についても検討した。

材料と方法

供試模型 本実験に使用した5種の模型の寸法をTable 1に示した。市販の代表的クランクベイト15種の全長、ボディの長さ・高さ・幅、およびリップの長さ・幅などを計測し、^{2,3)}これらをもとにルアー模型を作製した。ルアー模型のボディ形状は定量化を容易にするために正面、平面がそれぞれ長方形、側面が楕円形となるように設定した (Fig. 1)。³⁾なお、実験ではルアー模型の流体力の計測精度を高めるために、このように単純化したボディ形状をもつルアーの拡大模型 (拡大比=4.0) を用いた。ルアー模型のボディはポリウレタン樹脂をNC旋盤 (ローランド ディー・ジー・社製 CAMM-3 Model PNC-3200) で切削して製作し、リップは3 mm厚のアルミ板で製作した。平板とは異なる複雑な形状をした物体の流体力特性について縦横比 λ で議論する場合、物体の縦横比 λ は流れに対する物体の幅 (L_a) と平均弦長 L_c ($=$ 投影面積 S /物体の幅 L_a) との比 ($\lambda = L_a/L_c = L_a^2/S$) として定義する。^{5,6)}この方法を適用し Fig. 1に示すように、ここではルアーの縦横比 $\lambda = L_a^2/S$ 、リップの幅とリップの全長との比をリップの縦横比 $\lambda_L = L_a/L_p$ と定義した。

また、本研究では Fig. 1に示したボディの高さ (L_h) と流体力との関係についても検討した。すなわち、縦横比 $\lambda_L = 0.3$ のリップとボディを組み合わせたルアー模型と、最大投影面積および平面図上の縦横比 λ がそれぞれ等しい平板についても実験を行った。この縦横比 $\lambda =$

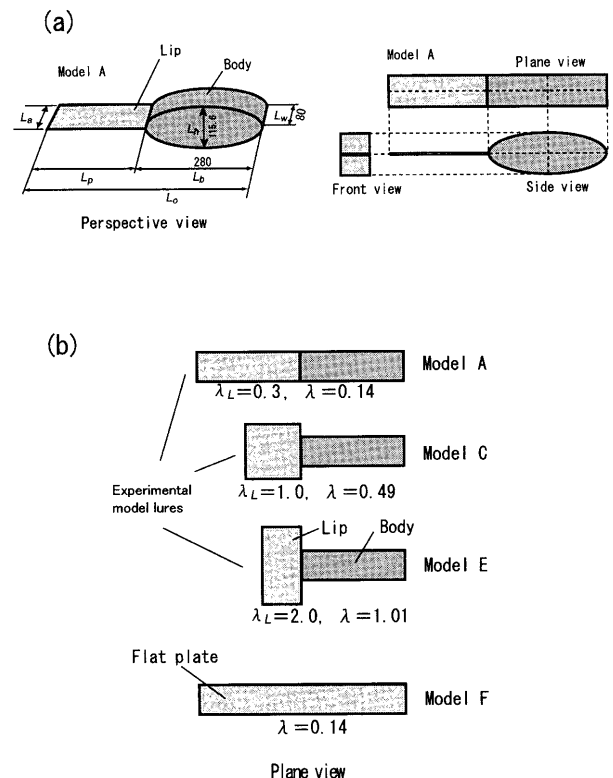


Fig. 1 An enlarged model of the crank bait lure for tank experiments.

Upper figures (a) show the length in mm (Model A). Lower figures (b) show the plane view of experimental model lures (A: $\lambda_L = 0.3$, $\lambda = 0.14$, C: $\lambda_L = 1.0$, E: $\lambda_L = 2.0$) and a flat plate (F: $\lambda = 0.14$). The aspect ratio of lip λ_L ($=L_a/L_p$) is indicated as a ratio of the lip width (L_a) to the lip length (L_p) in the plane view of the model lure. The aspect ratio of lure and flat plate λ ($=L_a^2/S$) is indicated as a ratio of the lip width squared (L_a^2) to the projected area (S) of the lure and the flat plate in the plane view.

0.14の平板は厚さ3 mmのアルミ板で製作した (Fig. 1)。

実験方法 実験に使用した計測装置の概略を Fig. 2に示した。実験では、供試模型の上端後部に直径12

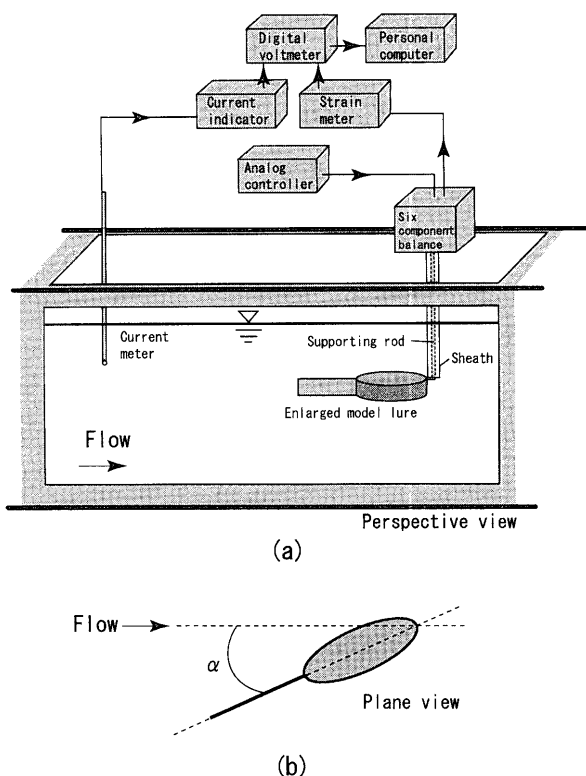


Fig. 2 Schematic diagram for measuring the sinking force, drag and moment of the model lures in the flume tank.

Upper figure (a) shows the tank experiment and the data sampling system.

Lower figure (b) shows the attack angle (α) of experimental model to the flow.

mm, 長さ 30 cm の支持棒を取り付け, この支持棒を六分力検力計に接続して, 供試ルアーに働く潜行力, 抗力およびモーメントを計測した。なお, 支持棒に流体抵抗がかからないようにその外側を流線型の鞘 (sheath) で覆った。この鞘は, 模型を固定する支持棒とは別に固定されているため, 鞘にかかる流体抵抗が支持棒に作用することはない。これまでの回流水槽における潜行実験³⁾では, ルアーの全長を代表長さとした場合, フィールドにおける実用上のリトリブ速度の計測結果と等しくなるように設定した流速 40~80 cm/s の範囲において, 供試ルアーのレイノルズ数は $Re = 3.6 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^5$ の範囲であった。このことと, 供試拡大模型のサイズを考慮して, 本実験では設定流速を 20~60 cm/s とした。そのため, 本実験の流速 20 cm/s におけるレイノルズ数は既往の潜行実験³⁾における流速 80 cm/s 時と一致する。また, リップの先端とボディの後端を結ぶ基線と流れとのなす角度をルアー模型の流れに対する迎角 (α) とし (Fig. 2b), この迎角 (α) を $0^\circ \sim 70^\circ$ の範囲で変化させた。各測定値は流速と共に 500 個のデータ (約 20 秒) をデジタルポルトメータを通してパソコ

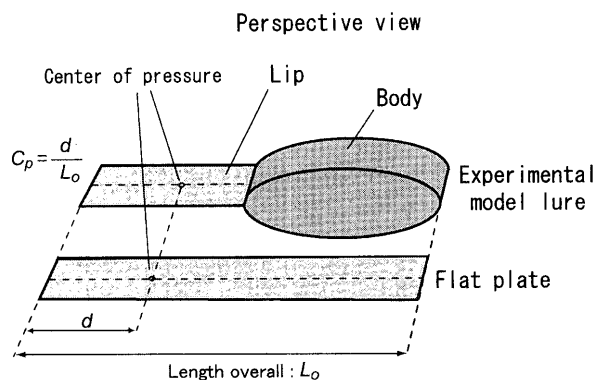


Fig. 3 Scheme for center-of-pressure coefficient (C_p) of the flat plate and the experimental model lure.

ンに取り込み, その平均値を用いた。

本実験は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) で行った。実験中の水温は $23^\circ\text{C} \sim 26^\circ\text{C}$ であった。

流体力係数の求め方 ルアー模型の抗力係数 (C_x), 潜行力係数 (C_z) およびモーメント係数 (C_{my}) はそれぞれ (1)~(3) 式で求めた。⁷⁾

$$C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (1)$$

$$C_z = \frac{F_z}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (2)$$

$$C_{my} = \frac{M_y}{\frac{1}{2} \rho S V^2 L_0} \quad (3)$$

ここで, ρ は水の密度, L_0 は模型の全長, S は模型の最大投影面積, V は流速, F_x , F_z および M_y はそれぞれ計測された抗力, 潜行力およびモーメントである。

次に, 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示すもので,⁷⁾ ルアーにラインを接続するタイダイの位置^{1,3)}を設定するための重要なパラメータとなる。Fig. 3 に示すように, この圧力中心係数 C_p は実験模型の全長 L_0 に対する同模型前縁から圧力中心までの距離 d との比で表される。本研究ではルアー模型および平板について, (1)~(3) 式から求めた C_x , C_z , C_{my} を用いて次式により, 圧力中心係数 C_p を求めた。⁶⁾

$$C_p = \frac{d}{L_0} = 1 - \frac{C_{my}}{C_x \sin \alpha + C_z \cos \alpha} \quad (4)$$

結 果

迎角 α 別に平板およびルアー模型のレイノルズ数 Re と潜行力係数 C_z および抗力係数 C_x との関係を図 4 に示した。Fig. 4(a), (b) より, 縦横比 $\lambda = 0.14$ の平板

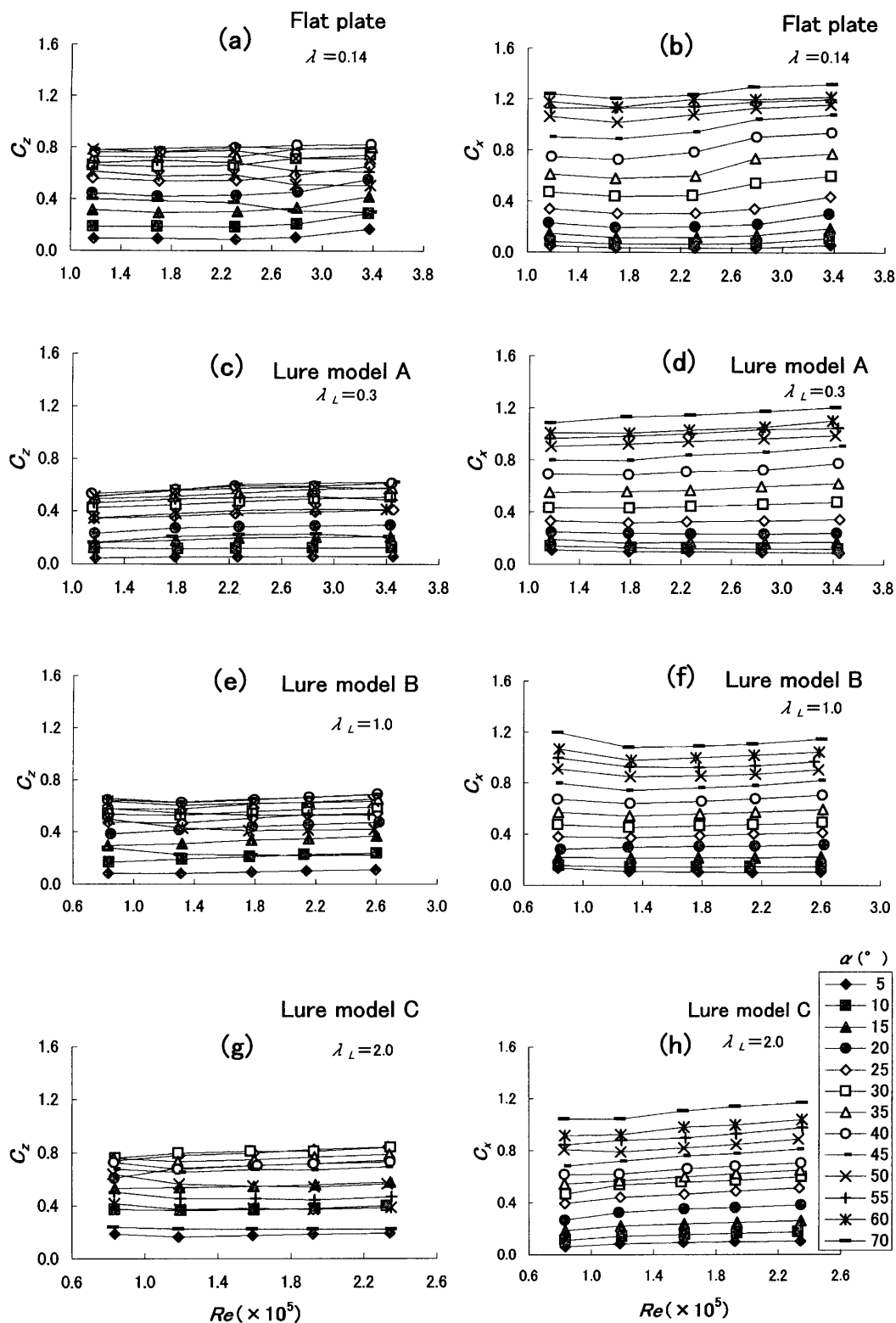


Fig. 4 Relationship between Reynolds number (Re), and the sinking force coefficient (C_z), the drag coefficient (C_x) of the flat plate and experimental model lures.

では、迎角 $\alpha \geq 50^\circ$ の場合、レイノルズ数 $Re \geq 2.3 \times 10^5$ で潜行力係数 C_z が約 0.1 減少する傾向がみられた。また、 $1.6 \times 10^5 \leq Re \leq 2.8 \times 10^5$ の範囲では、迎角 α が

$25^\circ \sim 50^\circ$ で抗力係数 C_x がやや増大する傾向が見られた。しかし、この場合のレイノルズ数の変化に伴う潜行力係数 C_z および抗力係数 C_x の変動幅はいずれも小さく、

C_z および C_x の絶対値に対する相対的な変化は小さい。Fig. 4(e)~(h)を見るとリップの縦横比 $\lambda_L = 1.0, 2.0$ で、迎角 $\alpha \geq 45^\circ$ の場合、レイノルズ数 Re が 0.8×10^5 から 1.3×10^5 へと増大すると潜行力係数 C_z および抗力係数 C_x にやや変動がみられる。しかし、これらの増減幅も 0.1 未満であり、レイノルズによる潜行力係数 C_z および抗力係数 C_x の変動幅は小さいものと見なせる。したがって、以下の解析において各流体力係数として、流速 20~60 cm/s の範囲内の平均値を用いた。

リップの縦横比 λ_L による流体力の変化 リップの縦横比 $\lambda_L = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ 別に迎角 α と潜行力係数 C_z との関係を Fig. 5 に示した。リップの縦横比 $\lambda_L = 0.3$ のルアー模型 A では、最大潜行力係数 $C_{zmax} = 0.55$ 、リップの縦横比 $\lambda_L = 1.0$ のルアー模型 C では最大潜行力係数 $C_{zmax} = 0.66$ 、 $\lambda_L = 2.0$ のルアー模型 E の場合は $C_{zmax} = 0.82$ となった。すなわち、リップの縦横比 λ_L が 0.3 から 2.0 へ大きくなるに従い最大潜行力係数 C_{zmax} が 0.55 から 0.82 へと 0.27 増大した。また、リップの縦横比 λ_L が 0.3, 1.0 の場合は迎角 α が $40^\circ \sim 45^\circ$ で潜行力係数が最大となったが、 $\lambda_L = 2.0$ では迎角 30° で潜行力係数は最大となり、最大潜行力係数が得られる迎角 α の値は約 10° 減少した。

Fig. 6 には、リップの縦横比 λ_L 別に迎角 α と抗力係数 C_x との関係を示した。迎角 α が $20^\circ \sim 30^\circ$ の範囲ではリップの縦横比 λ_L が 0.3 から 2.0 へと大きくなるにつ

れて抗力係数 C_x も大きくなった。しかし、全体的にリップの縦横比 λ_L の違いによる抗力係数 C_x の差は潜行力係数 C_z の差に比べて小さい。すなわち、本実験に使用したルアー模型ではリップ形状の違いによる抗力係数 C_x の変化は少ないと言える。

リップの縦横比 $\lambda_L = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ 別に迎角 α と潜行抗力比 C_z/C_x との関係を Fig. 7 に示した。リップの縦横比 λ_L が 0.3 のルアー模型 A では迎角 α が 20° で最大潜行抗力比 1.23、 $\lambda_L = 1.0$ のルアー模型 C では迎角 15° で最大潜行抗力比 1.53、 $\lambda_L = 2.0$ のルアー模型 E では迎角 10° で最大潜行抗力比 2.54 となった。つまり、リップの縦横比が $\lambda_L = 0.3$ から 2.0 へ大きくなると最大潜行抗力比は増大した。しかし、最大潜行抗力比を得る迎角 α は 20° から 10° へと次第に減少した。このことから、これらのルアー模型ではリップの縦横比 λ_L が増大すると最大潜行抗力比が増大し、それと共に最大潜行抗力比となる迎角 α が減少することが明らかとなった。

以上の結果から、リップの縦横比の違いによる抗力係数 C_x の変化は小さいが、リップの縦横比 λ_L が増大すると最大潜行力係数 C_{zmax} および最大潜行抗力比 C_z/C_x が増大し、潜行抗力比が最大となる迎角 α が小さくなる傾向が認められた。

次に、リップの縦横比が異なるルアー模型について圧力中心の位置を調べた。Fig. 8 にリップの縦横比 $\lambda_L = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ における迎角 α と圧力中心係数 C_p

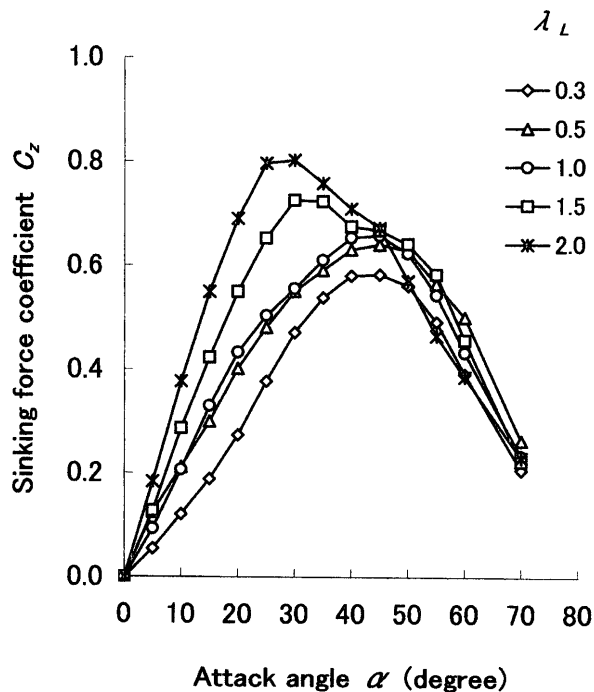


Fig. 5 Sinking force coefficient (C_z) of the experimental model lures ($\lambda_L = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$) in relation to attack angle (α).

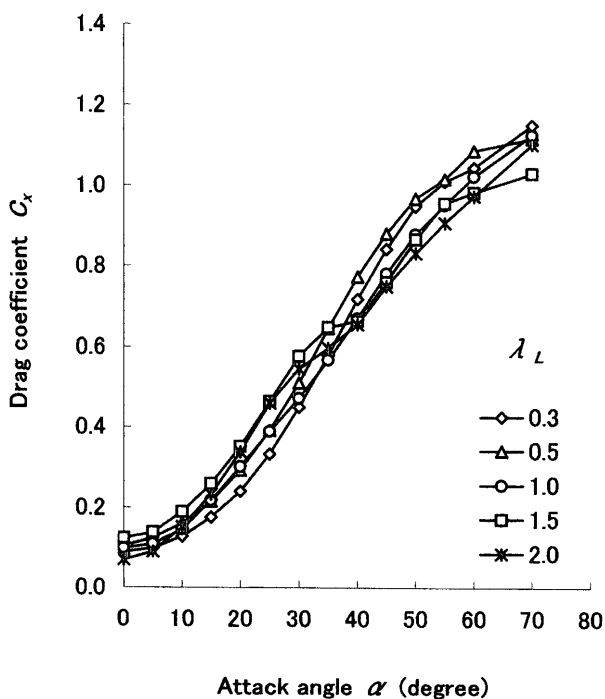


Fig. 6 Drag coefficient (C_x) of the model lures ($\lambda_L = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$) in relation to attack angle (α).

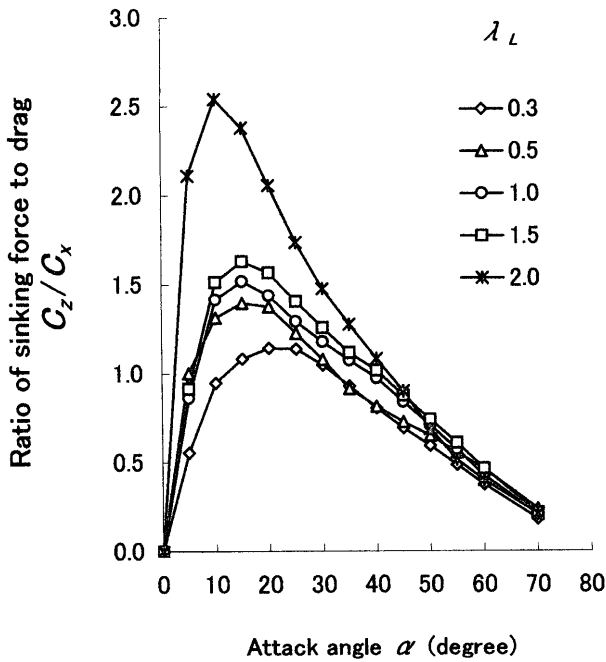


Fig. 7 Ratio of sinking force to drag (C_z/C_x) of the experimental lures ($\lambda_L=0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$) in relation to attack angle (α).

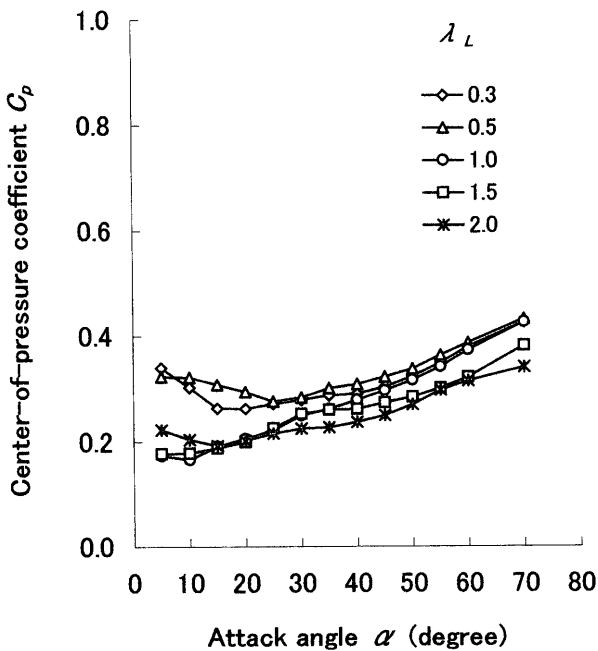


Fig. 8 Center-of-pressure coefficient (C_p) of the experimental model lures ($\lambda_L=0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$) in relation to attack angle (α).

との関係を示した。 $\lambda_L=0.5$ のルーアモデルでは迎角 α が 25° より、その他のモデルでは迎角 α が 15° より大きくなると圧力中心係数 C_p の値は増大した。また、迎角 $\alpha \geq 20^\circ$ ではリップの縦横比 λ_L が0.3から2.0へと大きくなるにつれて圧力中心係数 C_p は小さくなった。つまり、

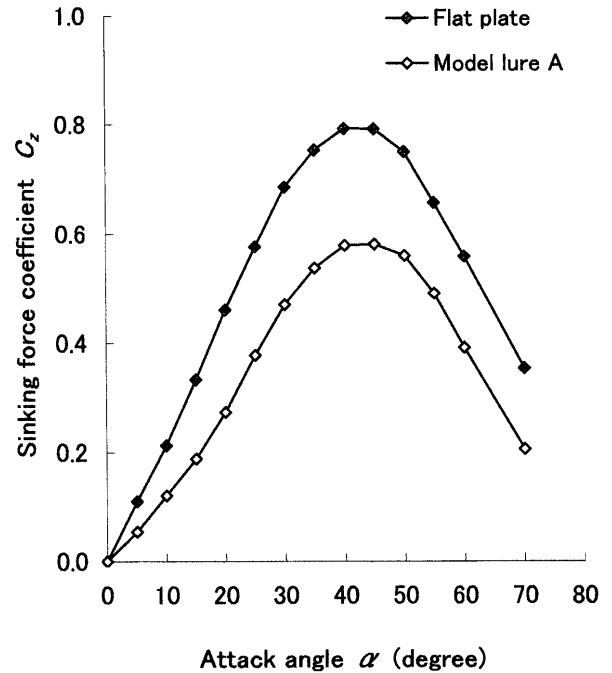


Fig. 9 Sinking force coefficient (C_z) of the flat plate ($\lambda=0.14$) and the model lure A ($\lambda=0.14, \lambda_L=0.3$) in relation to attack angle (α).

これらのルーアモデルでは、同一迎角においてリップの縦横比 λ_L が大きいほど圧力中心の位置がリップの前方に位置することを意味している。

ルーアボディによる流体力の変化 平面図において全体の縦横比 $\lambda=0.14$ の平板と、ルーアモデルA (リップの縦横比 $\lambda_L=0.3$)の迎角 α と潜行力係数 C_z との関係をFig. 9に示した。平板およびルーアモデルAは共に迎角 $0^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ では、 α が大きくなると潜行力係数 C_z が増大し、迎角 $40^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ の範囲で潜行力係数が最大となった。ルーアモデルAは迎角 $\alpha=40^\circ, 45^\circ$ で最大潜行力係数 $C_{zmax}=0.55$ を示したが、平板は迎角 $\alpha=40^\circ$ で最大潜行力係数 $C_{zmax}=0.8$ となり、平板と比較してルーアモデルAは最大潜行力係数 C_{zmax} が0.25小さい。

Fig. 10には、Fig. 9と同様に、平面図上の全体の縦横比 $\lambda=0.14$ の平板と、ルーアモデルAの迎角 α と抗力係数 C_x との関係を示した。迎角 $\alpha \leq 20^\circ$ では、ルーアモデルAはボディが受ける抗力の影響によって平板よりも抗力係数 C_x が大きくなるが、迎角 $\alpha \geq 30^\circ$ ではルーアモデルAは平板より抗力係数 C_x が小さい。また、迎角 α を 0° から 55° にすると平板では抗力係数 C_x の値が1.15増大したのに対して、ルーアモデルAの増大幅は0.8であった。次に、これらの潜行力係数 C_z と抗力係数 C_x との比、すなわち潜行抗力比⁹⁾を比較した。

Fig. 11に平板およびルーアモデルAの迎角 α と潜行抗力比 C_z/C_x との関係を示した。平板では迎角 $\alpha=10^\circ$ において潜行抗力比が2.65となり、迎角 α が 10° を超え

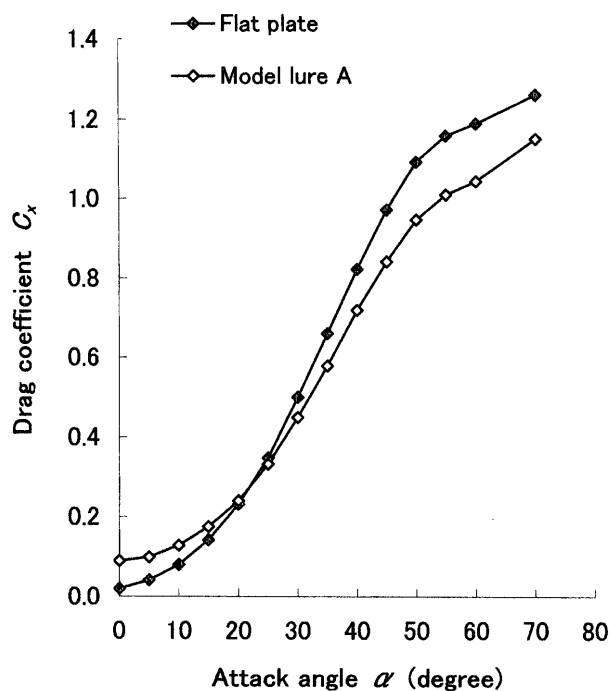


Fig. 10 Drag coefficient (C_x) of the flat plate ($\lambda=0.14$) and the model lure A ($\lambda=0.14, \lambda_L=0.3$) in relation to attack angle (α).

ると潜行抗力比が顕著に減少した。 $\alpha=30^\circ$ では潜行抗力比=1.4 となり、迎角が 10° から 30° になると、潜行抗力比は1.25 減少した。これに対してルアー模型 A では迎角 10° で潜行抗力比0.95, 20° で最大潜行抗力比1.23, 30° で潜行抗力比1.06 となった。すなわち、ルアー模型 A では、 $10^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ の範囲における潜行抗力比の変動幅は0.28 となり、平板の場合より著しく小さい。

これらの結果から、ルアー模型 A は平板と比較して最大潜行力係数 C_{zmax} および最大潜行抗力比が小さい。一方、迎角 α を大きくしたときの抗力係数 C_x の増大幅が小さく、潜行抗力比が最大となる迎角 α の近傍 $10^\circ \sim 30^\circ$ における潜行抗力比の変化も小さい。つまり、平板と比較して供試ルアーは潜行時の迎角 α の変化に伴う潜行抗力比の変動幅が小さく、これによる潜行深度の変化も相対的に小さくなるものと考えられる。

縦横比 $\lambda=0.14$ の平板およびルアー模型 A (リップの縦横比 $\lambda_L=0.3$) の迎角 α と圧力中心係数 C_p との関係を図 12 に示した。迎角 $5^\circ \leq \alpha \leq 70^\circ$ の範囲でルアー模型 A の圧力中心係数 C_p は平板より 0.05~0.1 小さい値を示した。平板では迎角 α の変化に伴う圧力中心係数 C_p の変動幅が小さく、迎角が 30° から 70° へと大きくなるにつれて圧力中心係数 C_p の値が 0.35 から 0.45 へと増大した。これに対して、ルアー模型 A では迎角 α が 5° から 15° になると圧力中心係数 C_p が 0.35 から 0.25

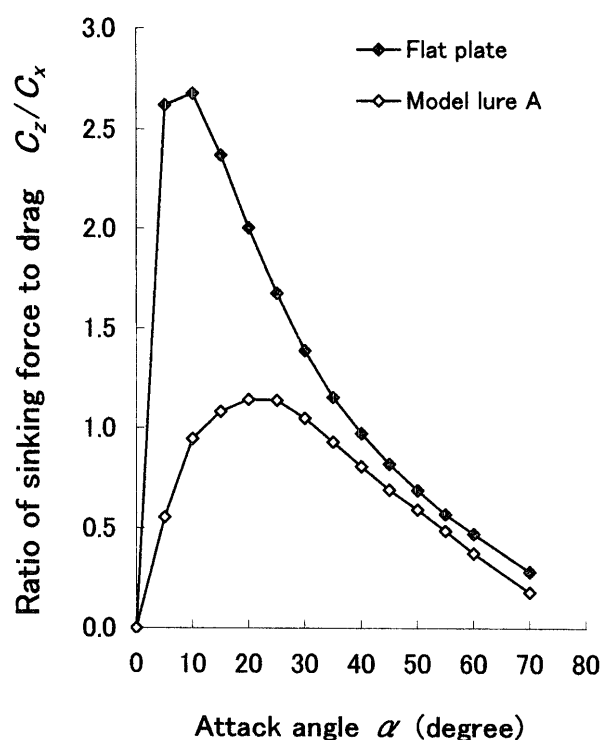


Fig. 11 Ratio of sinking force to drag (C_z/C_x) of the flat plate ($\lambda=0.14$) and the model lure A ($\lambda=0.14, \lambda_L=0.3$) in relation to attack angle (α).

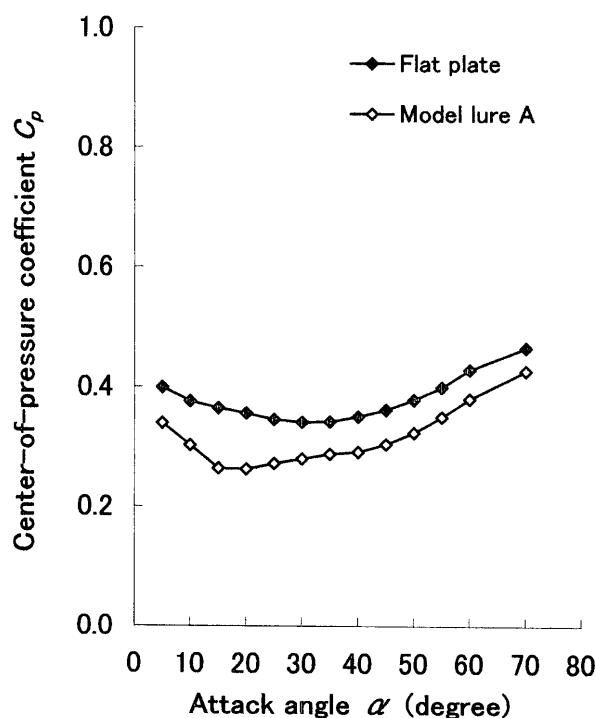


Fig. 12 Center-of-pressure coefficient (C_p) of the flat plate ($\lambda=0.14$) and the model lure A ($\lambda=0.14, \lambda_L=0.3$) in relation to attack angle (α).

へと減少し、迎角が $\alpha \geq 15^\circ$ になると C_p の値は増大した。また、ルーア模型 A の迎角 $\alpha \geq 30^\circ$ では迎角が大きくなると圧力中心係数 C_p の増大傾向は平板とほぼ等しくなった。この場合、迎角 α が 30° から 70° へと大きくなるにつれて圧力中心係数 C_p の値が0.1増大した。このことから、ボディとリップによって構成されたルーア模型 A では、平面投影図上の縦横比が等しくても、圧力中心が平板より前方に位置し、その差は圧力中心係数 C_p で表すと0.05から0.1であった。

考 察

本実験に使用した縦横比 $\lambda = 0.14$ の平板は、迎角 $\alpha = 40^\circ$ で最大潜行力係数 C_{zmax} が0.8 (Fig. 9), 迎角 $\alpha = 10^\circ$ で最大潜行抗力比 C_z/C_x が2.65であった (Fig. 11)。朴ら⁴⁾によると、縦横比 $\lambda = 0.5$ の平板では迎角 40° で最大揚力係数 $C_{Lmax} = 1.24$, 迎角 5° で最大揚抗比が4.3の値を示した。この結果と比較すると、本実験に使用した縦横比 $\lambda = 0.14$ の平板は $\lambda = 0.5$ の平板より最大潜行力係数 C_{zmax} および最大潜行抗力比が小さい。薄翼理論によると、縦横比の非常に小さい平板では、翼の上・下面の圧力が翼端で平均化され、揚力係数は縦横比に比例し、縦横比 λ が小さくなると、揚力係数も小さくなる。⁸⁾次に、縦横比 $\lambda = 1.5$ の平板では迎角 5° で圧力中心係数 C_p は約0.25と報告され、迎角が 5° から 25° まで増大することに伴って圧力中心係数 C_p は約0.45まで増大し、 $\alpha > 25^\circ$ では $C_p \approx 0.5$ に収束している。¹²⁾この結果は本実験で使用した $\lambda = 0.14$ の縦横比が小さい平板とは異なる傾向を示している。

本研究結果から、平板と比較して供試ルーアは潜行時の迎角 α の変化に伴う潜行抗力比の変動幅が小さい。このため、供試ルーアは平板よりも潜行深度の変化が相対的に小さくなるものと推察できる。平板と比較すると、ルーア模型は Fig. 1 に示した側面図においてボディの高さ方向に L_h の厚みがあるため、迎角が小さい場合はリップの背面から剥離した流れがボディの底面に再付着するものと推察され、^{10,13)}ボディの厚みの影響によってボディ上面後部には流れの剥離が起こる可能性が考えられる。また、平板と比較してルーア模型はボディの厚みがあることによって、リップの左右両端周りに形成される翼端渦^{10,13,14)}の発達に影響を及ぼすものと考えられる。これらの流れの剥離状態および翼端渦の形成状態が異なることによって、ルーア模型の最大潜行力係数 C_{zmax} および最大潜行抗力比 C_z/C_x が平板の最大潜行力係数および最大潜行抗力比よりも小さくなるものと推測される。また、ルーア模型では、迎角が最大潜行力係数 C_{zmax} を示す $\alpha = 40^\circ$ より大きい場合、抗力係数 C_x が平板より約10%小さくなっている。この現象がボディの厚み L_h の影響によるものかどうかはさらに詳しく調べ

る必要がある。

次に、リップの縦横比の影響については、リップの縦横比 λ_L が0.3から2.0へと大きくなると、最大潜行力係数 C_{zmax} および最大潜行抗力比 C_z/C_x が増大するとともに潜行抗力比が最大となる迎角 α が小さくなる傾向が認められた。しかし、抗力係数 C_x に顕著な差は見られなかった。このことから、リップ形状の変化は抗力係数 C_x よりも潜行力係数 C_z に与える影響が大きいことが明らかとなった。福田ら¹⁵⁾によると、湾曲板では縦横比が0.5から1.0へと大きくなると揚力係数が増大し、縦横比が1.0から3.0へと大きくなると揚力係数が減少している。さらに縦横比が大きくなると揚力係数が再び増大する。つまり、最大揚力係数は縦横比の増加と共に、必ずしも単純に増大するわけではなく、その最大値は比較的小さな縦横比で現れるという結果が報告されている。¹⁵⁾本研究の供試ルーアの場合、リップの縦横比 λ_L が0.3では平面図上のルーアの縦横比 $\lambda (= L_a^2/S)$ が0.14であり、リップの縦横比 λ_L が2.0の模型でも、ルーアの縦横比 λ は1.01である。湾曲板とルーア模型とでは形状の違いにより流体力特性は異なるものの、供試ルーアのリップの縦横比 λ_L が2.0まで大きくなるに従い最大潜行力係数が増大する結果は、上記の湾曲板の縦横比が1.0まで最大揚力係数が増大する変化傾向と一致する。

これまでの平板を使用した流れの可視化実験⁸⁾によると、縦横比 λ が1.5の平板は λ が0.5の平板より失速角 α_c が小さくなることが明らかとなっている。また、湾曲板を使用した流れの可視化実験¹³⁾によると、湾曲板の上・下端周りに翼端渦が形成され、迎角の増大に伴って螺旋状の翼端渦の中心軸が崩壊するブレイクダウン現象^{10,11)}の発生が確認されている。このことに関連して、本実験に用いたルーア模型では、 λ_L が大きくなるとリップの幅に対して弦長が短くなるため、前述のようにリップ後方のボディの影響も考慮すると、翼端渦の発達が弱まり、同じ迎角でもブレイクダウン現象がより模型に近い位置で起こっているものと推察される。このことはリップの縦横比の増大に伴って失速角が小さくなることにつながる可能性がある。この点についてはタフト法および水素気泡法¹⁶⁾による平板およびルーア模型周りの流れの可視化を行い、ルーア背面からの流れの剥離やルーア後端の流れの状態をさらに検討する必要がある。

リップの縦横比 λ_L が2.0になると最大潜行抗力比は増大するが、潜行抗力比 C_z/C_x が最大となる迎角 α 近傍で C_z/C_x の変化も大きい (Fig. 7)。このことから、 λ_L が0.3から2.0へと大きくなると潜行深度は深くなるが、迎角の変化に伴う潜行深度の変動幅も大きくなるものと推察できる。逆に λ_L を2.0から0.3へと小さくすると、迎角 α の変化に伴う潜行抗力比の変動幅が小さ

くなり、潜行深度の変化を相対的に小さくできる。つまり、供試ルアーでは λ_L を0.3に設定することによって、迎角 α が変動しても潜行深度の変化を小さくすることが可能である。

クランクベイトはタイダイの位置を支点として潜行するため、圧力中心の位置はルアーのタイダイ位置の設定に直接影響するものと考えられる。本研究では、リップの縦横比 λ_L が大きくなるにつれて潜行力係数 C_2 が最大となる迎角が小さくなることが明らかとなった。また、同一迎角ではリップの縦横比 λ_L が大きくなるにつれて圧力中心の位置がリップの前方に位置するという結果が得られた。つまり、潜行力係数 C_2 が最大となる迎角における圧力中心の位置はリップの縦横比 λ_L が大きくなるにつれてリップの前方に移動することを示している。そのため、ルアーの潜行深度を深くするようにタイダイ位置を設定するには、リップの縦横比 λ_L が大きい場合は、タイダイ位置をリップの前方へ設定する必要がある。この点については、圧力中心の位置とタイダイの位置との詳細な関係を明らかにする必要がある。そこで、本研究に使用したルアーモデルとボディおよびリップ形状が同一で大きさが異なるルアーを使用したこれまでの回流水槽実験の結果³⁾と本実験の結果を比較検討した。

臺田ら³⁾の実験では、流速80 cm/sで、リップの縦横比0.3、タイダイの相対位置 C_l ($C_l = d_i/L_0$, d_i : ルアーの先端からタイダイまでの距離)が0.35の場合では、迎角が55°となり、リップの縦横比2.0、タイダイの相対位置 $C_l = 0.2$ では流水中のルアーの迎角は54°となる結果を得ている。Fig. 8より、リップの縦横比 $\lambda_L = 0.3$ 、迎角55°における圧力中心係数 C_p はタイダイの相対位置 C_l と同じく約0.35の値を示している。また、リップの縦横比 $\lambda_L = 2.0$ 、迎角 $\alpha = 55^\circ$ における圧力中心係数 C_p は0.3を示した。この場合、供試ルアーのタイダイの相対位置は $C_l = 0.2$ となり、³⁾タイダイが圧力中心よりも前方に位置することを意味している。これは、ルアーがタイダイの位置を支点としてヨーイングあるいはローリング振動をしながら潜行すること¹⁾およびルアーの重心位置に関係するものと考えられた。

ルアーの振動に伴う潜行姿勢の変化によってルアー底面からの流れの剥離と再付着の状態、および翼端渦の形成状態は変化するものと考えられる。そのため、潜行姿勢の変化によってルアーに作用する流体力の方向が異なり、その値も変化する。クランクベイトタイプのルアーはヨーイング振動を主体とした潜行運動を示すことが実験によって確認されている。^{2,3)}そのため、今後拡大ルアーモデルの振れ角を変えて潜行力、抗力および圧力中心の位置の変化機構を解明する実験も必要であろう。

以上の結果および考察から、リップの縦横比 λ_L を

0.3から2.0へと増大させることによって抗力を増大させることなく最大潜行力係数 C_{2max} および最大潜行抗力比を大きくできることが明らかになった。このメカニズムの応用により、実際のルアーではフィールドにおける最大潜行深度を深くすることが可能である。また、曳行時のタイダイの位置を固定モデルにおける圧力中心の位置と等しいか、それよりもやや前方にすることによって、クランクベイトルアーの潜行深度を大きくできることも示唆された。

謝 辞

本実験に協力して頂いた東京水産大学機能材料設計学研究室4年次生の近藤隆史君、筆谷拓郎君に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 臺田 望, 稲田博史, 三木智宏, 兼廣春之. クランクベイトのタイダイの位置による潜行深度の変化. 日水誌 1999; **65**: 839-846.
- 2) 三木智弘, 臺田 望, 稲田博史, 酒井拓宏, 兼廣春之. リップ付きハードルアーのボディ形状と潜行運動. 日水誌 2001; **67**: 49-55.
- 3) 臺田 望, 稲田博史, 三木智弘, 酒井拓宏, 兼廣春之. クランクベイトのリップ形状とタイダイ位置による潜行運動の変化. 日水誌 2001; **67**: 1072-1081.
- 4) 朴 倉斗, 松田 峻, 胡 夫祥, 孫 満昌. 縦横比の異なる平板の揚抗力特性に及ぼす底面の影響. 日水誌 1993; **59**: 79-84.
- 5) Hoerner SF, Borst HV. General information on fluid dynamics and airplanes. In Hoerner SF, Borst HV (eds) Fluid-dynamic Lift Hoerner Fluid Dynamics, Albuquerque. 1985; 1-18.
- 6) 松田 峻. 拡網板の流体力特性. 「漁具物理学」(松田峻編)成山堂書店, 東京. 2001; 43-63.
- 7) 日野幹雄. 「流体力学 第一版」朝倉書店, 東京. 1992; 126-130.
- 8) 藤本武助. 「流体力学」養賢堂, 東京. 1980; 146-169.
- 9) 胡 夫祥, 大関芳沖, 東海 正, 松田 峻. 稚魚採集網用V型デプレッサーの流体力特性. 日水誌 2000; **66**: 846-851.
- 10) 朴 倉斗, 松田 峻, 東海 正. タフト法による平板周りの流れの可視化. 日水誌 1994; **60**: 193-199.
- 11) 林 良生, 中谷輝臣. デルタ翼前縁剥離渦とBreak-down. 日本航空宇宙学会誌 1972; **20**: 623-629.
- 12) 朴 倉斗, 松田 峻, 胡 夫祥, 東海 正. 反り比の異なる湾曲板の流体特性に及ぼす底面の影響. 日水誌 1993; **59**: 627-134.
- 13) 朴 倉斗, 松田 峻, 東海 正. 水素気泡発生法による湾曲板の周りの流れの可視化. 日水誌 1994; **60**: 485-491.
- 14) W.-J. Yang. 「Handbook of Flow Visualization」 Hemisphere Publishing Corporation, New York. 1989; 41-44.
- 15) 福田賢吾, 胡 夫祥, 東海 正, 松田 峻. 湾曲板の揚抗力特性に及ぼす縦横比の影響. 日水誌 2000; **66**: 97-103.
- 16) 種子田定俊. 「流れの可視化」(日本流体力学会編)朝倉書店, 東京. 1996; 7-151.