

## クランクベイトのリップ形状とタイドアイ位置による 潜行運動の変化

臺田 望, 稲田博史,\* 三木智弘,<sup>a</sup> 酒井拓宏, 兼廣春之

(2001年2月9日受付, 2001年5月28日受理)

東京水産大学海洋生産学科

### Change in Diving Behavior by Lip Shape and Tied-eye Position of Crank Bait Lure

Nozomu Daida, Hiroshi Inada,\* Tomohiro Miki,<sup>a</sup> Takuhiro Sakai, Haruyuki Kanehiro

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

Flume tank experiments were conducted to clarify the relationship among tied-eye position, line tension and diving behavior of crank bait lures with different shapes of lip. Experimental lure-lips having the same area and different aspect ratio ( $\lambda = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ ) in the plane view were made. Trial lures with the same body were used in the experiments at velocities of 40, 60 and 80 cm/s in the flow. Attack angle of the lures and tension on the towing line were measured in the tank test. The lure behavior was also recorded by video cameras from the top and the side of the observation area. We used an index  $C_s (= S_F/S)$  that indicates the areal ratio of the forepart of the tied-eye ( $S_F$ ) to the whole area ( $S$ ) of the lure in the plane view. It was confirmed that there was a constant relationship respectively between the areal ratio ( $C_s$ ) and line tension on a towing line,  $C_s$  and attack angle of the line, even for different shapes of lip attached. In the case of different lips, the tested lures showed steady diving behavior within the range of  $C_s = 0.2$  to  $0.3$ .

キーワード：ルアー, クランクベイト, タイドアイ, リップ, 迎角, ライン張力, 縦横比

クランクベイト型ルアーは、一般的に潜行板の役目を果たす扁平構造のリップと立体形状のボディ、ラインを接続するためのタイドアイおよびフックによって構成され、リップやボディの形状およびタイドアイの位置によって潜行運動が異なる。<sup>1,2)</sup> これまでの研究では、リップ上に取付けられたタイドアイの位置によって潜行時の流れに対するルアーの迎角が変化するために、タイドアイの位置が潜行運動に与える影響が大きいことが明らかにされている。<sup>2)</sup> また、リップ上にタイドアイがあるクランクベイトの場合、ラインの巻取りに伴って失速や蛇行をすることなく、安定した潜行が可能となるタイドアイの取付け範囲はリップの形状によって変化する。<sup>2)</sup> したがって、タイドアイの位置と潜行運動との関係を明らかにするためには、リップの形状別に潜行運動を比較検討する必要がある。

また、本研究において研究対象としたクランクベイトの潜行運動の制御機構はルアーの設計指針のみならず、

海洋における曳行式測器の運動制御への応用も可能である。現在の海洋観測器において、中層の諸項目（水温、塩分等）を船舶の巡航速度で連続的に計測できる簡易な曳行体は見当たらない。しかし、このような観測器のプロープおよび曳索を含む曳行システムが構築されれば、より効率的で詳細な海洋観測が可能になるものと考えられる。

これまでに、物体の形状と流体特性との関係については、オッターボードに関して平板の形状を縦横比で表し、この揚抗力特性について論議した報告がある。<sup>3)</sup> そこで、本研究ではクランクベイト型ルアーのリップ形状をリップの縦横比によって変化させ、このリップ形状とタイドアイの位置によるルアーの潜行姿勢およびライン張力の変化を明らかにすることを目的に回流水槽実験を行った。また、この研究過程において、リップ形状が異なる場合のルアーの潜行運動を解析するために、タイドアイの設定位置を標準化する表記方法についても検討した。

\* Tel : +81-3-5463-0476, Fax : +81-3-5463-0692, E-mail : inadah@tokyo-u-fish.ac.jp

<sup>a</sup> 現所属：株式会社東和電機製作所（Towa Denki Seisakusho Co., Ltd., Hakodate, Hokkaido 040-0077, Japan）

## 実験方法

本研究ではタイドアイの位置・リップ形状を可変設定できるルアー模型を試作し、実験を行った。

**供試ルアー** ブラックバス用の代表的な市販クランクベイト (15種) の全長, ボディの長さ・高さ・幅, およびリップの長さ・幅の形状特性を計測し,<sup>2)</sup> これをもとに供試ルアーを製作した。供試ルアー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 (Fig. 1), NC 旋盤切削機 (ローランド社製モデラ Model MDX-3) を使用して高密度ポリスチレンからボディを削り出した。このボディを原型としてシリコン樹脂で型を作り, この型を用いてポリウレタン樹脂 (HEI CAST, 有機溶剤系ウレタン注型剤) で外殻が 2 mm 厚のルアーボディを製作した。さらにボディの内部にはポリウレタン発泡樹脂 (発泡倍率 20 倍) を充填することで比重調整用の鉛をボディの中央に固定した。また, ボディ表面は吸水を防ぐ為にアクリルウレタン塗料で塗装した。上記の市販ルアーの形状の計測結果に基づいて製作したボディ<sup>2)</sup> と平面図上の投影面積が等しく, すなわち Fig. 1 に示す平面図上の縦横比  $\lambda = L_w/L_b = L_a/L_p = 0.3$  も等しいリッ

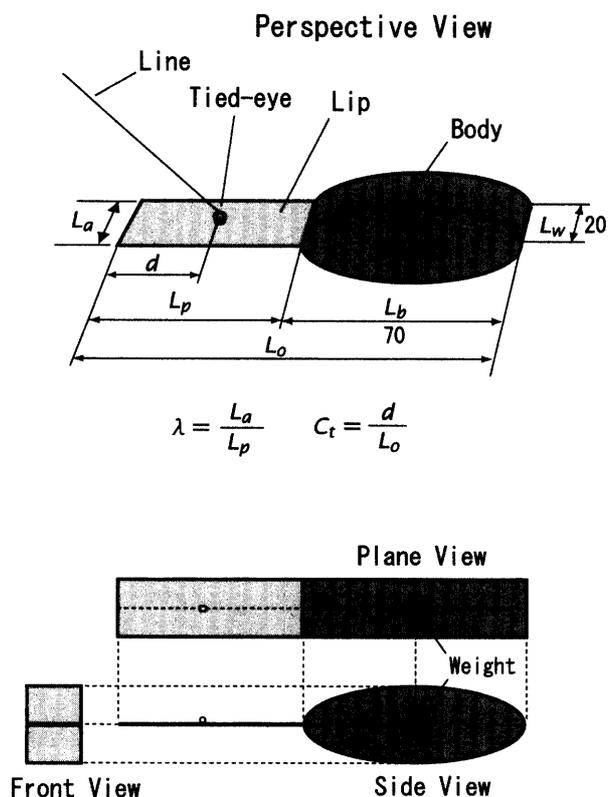


Fig. 1. Scheme of an experimental crank bait lure. Figures show the length in mm.  $\lambda$  expresses the aspect ratio.

プ, および縦横比  $\lambda = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$  となる計 5 種のリップを 1 mm 厚のアルミ板を用いて製作した。

現在市販されているクランクベイトのリップ形状は平面図においてリップの先端部分が半円状である。しかし, 本研究では平面図においてボディと面積が等しく縦横比が異なるリップについて潜行運動を比較・検討するために, 供試ルアーのリップ形状を平面図において長方形 ( $\lambda = 0.3, 0.5, 1.5, 2.0$ ) あるいは正方形 ( $\lambda = 1.0$ ) とした。また, リップはルアーの側面図 (Fig. 1) におけるボディの前後端を結ぶ基準面に対して  $0^\circ$ , すなわち水平になるように装着した。リップ装着時のルアーの比重は 0.94, 空中重量は 26.3~26.9 g の範囲とした。

**タイドアイの位置** タイドアイの位置は, 平面図上におけるルアーの先端からタイドアイまでの距離 ( $d$ ) とルアーの全長 ( $L_0$ ) との比  $C_t$  と,<sup>2)</sup> ルアーの平面図上のタイドアイより前方の面積 ( $S_f$ ) とルアー全体の平面投影面積 ( $S$ ) との比  $C_s$  として次式のように定義した (Fig. 2)。

$$C_t = \frac{d}{L_0} \quad (1)$$

$$C_s = \frac{S_f}{S} \quad (2)$$

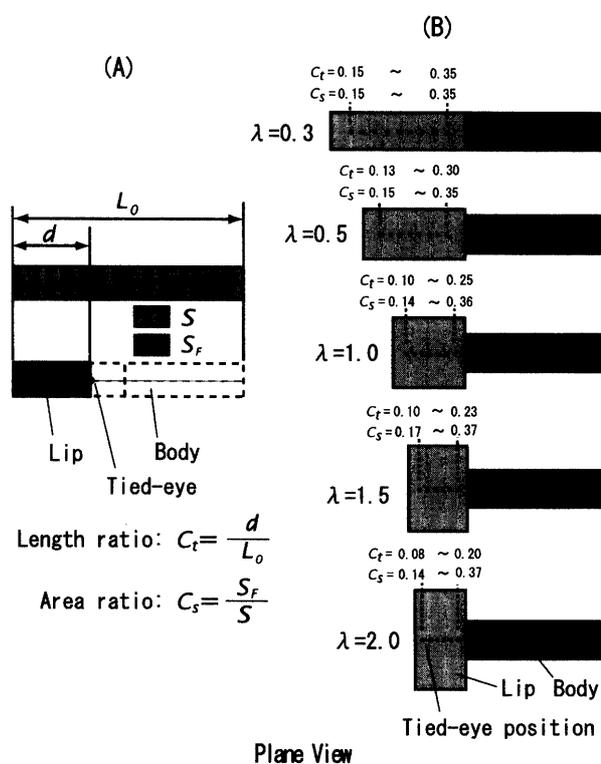


Fig. 2. Indexes ( $C_t$ ,  $C_s$ ) of tied-eye position for experimental crank bait lures.

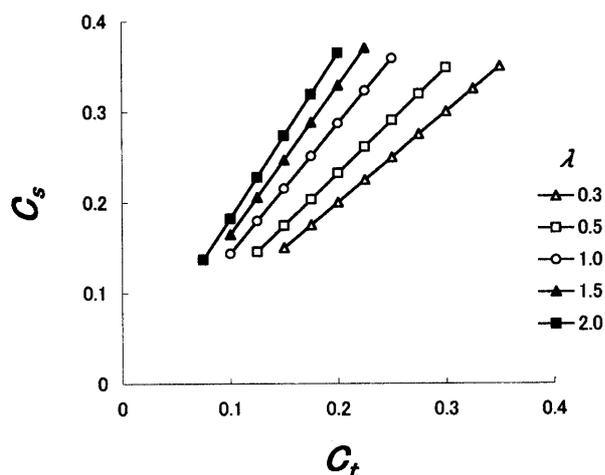


Fig. 3. Relationship between the indexes of tied-eye position  $C_t$  and  $C_s$  for five specific lip shapes (aspect ratio  $\lambda = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5$  and  $2.0$ ).

したがって式(1), 式(2)ではタイドアイの位置がリップの前方から後方へ移動すると  $C_t$ ,  $C_s$  の値は共に大きくなる。また, リップの縦横比が大きくなるにつれて  $C_t$  に対する  $C_s$  の値が大きくなる (Fig. 3)。この  $C_t$  に対応する  $C_s$  の値を Table 1 に示した。

**回流水槽と計測装置・方法** 使用した回流水槽,<sup>4)</sup> 実験装置およびルアーの潜行挙動の測定方法を Fig. 4 に示した。実験流速はルアーの実用上の巻き取り速度を計測した結果<sup>2)</sup> から 40, 60, 80 cm/s に設定した。ルアーは5種のリップおよび6~9ポジションのタイドアイの組み合わせを変え, ラインにかかる張力(ライン張力), ルアーの迎角 ( $\alpha$ ) およびライン張力の変動周波数を計測した。ルアーはスウォード下端より伸出したライン(ゴーセン社製, 高性能ポリエチレン, 長さ 55 cm, 直径 0.35 mm, ヤング率  $1.37 \times 10^3$  kgf/m<sup>2</sup>) に接続し, このラインにかかる張力を指標として流水中のルアーのタイドアイに作用する力を測定した。ライン張力はスウォード中の計測用ワイヤー(直径 0.4 mm)を介してストレインゲージ(シンコー社製: U-GAGE, TYPE. UT-1 KG)に取り込み, アンプ(ミネベア社製: DSA-619B), A/D変換モジュール(キーエンス社製: データリンクシステム XL-200)を経由してパーソナルコンピューターに取り込む方式で計測した。張力データのサンプリング間隔は 10 ms とし, 2秒間にサンプリングした 200個のデータの平均値を平均張力として解析に供した。ライン張力の変動周波数はストレインゲージ, 動ひずみ測定器を介して得られた張力変化の周期特性を, FFTアナライザー(小野測器社製 CF-5220)により解析した。市販ルアーの潜行中の振動特性について, 三浦ら<sup>5,6)</sup>は張力の変動周波数の最大値は流速 80 cm/s において約

Table 1. Specifications of experimental lures

$\lambda$	$L_a$ (mm)	$L_p$ (mm)	$C_t$	$C_s$
0.3	20	70		0.15
				0.18
				0.20
				0.23
				0.25
				0.28
				0.30
0.5	26	53		0.33
				0.35
				0.13
				0.15
				0.17
				0.18
				0.20
1.0	37	37		0.20
				0.23
				0.26
				0.25
				0.29
				0.28
				0.32
1.5	46	31		0.30
				0.35
				0.10
				0.14
				0.13
				0.18
				0.15
2.0	53	26		0.22
				0.18
				0.25
				0.20
				0.29
				0.23
				0.32
	0.25			
	0.36			
	0.10			
	0.16			
	0.13			
	0.21			
	0.15			
	0.25			
	0.18			
	0.29			
	0.20			
	0.33			
	0.23			
	0.37			
	0.08			
	0.14			
	0.10			
	0.18			
	0.13			
	0.23			
	0.15			
	0.27			
	0.18			
	0.32			
	0.20			
	0.36			

23 Hzであったと報告している。しかし, 本研究では実験流速 40~80 cm/s において顕著にみられた張力の変動周期が 19 Hz 以下であったことから, 0 から 20 Hz の範囲でパワースペクトルを測定し, このパワースペクトルのピーク周波数とビデオ撮影で得たルアーの振動との対応を調べ, 潜行中のルアーの振動特性を検討した。ルアーの潜行姿勢は回流水槽側面の観測部からルアー潜行時の挙動をビデオカメラ(ソニー社製 DCR-TRV900)により撮影し, この画像をビデオキャプチャボード(松下電器製 miroVIDEO DV300)により静止画像としてパソコンに取りこんだ。この静止画像を基に製図ソフト(Via Grafix 社製 DesignLT)を用いて観測窓に平行な

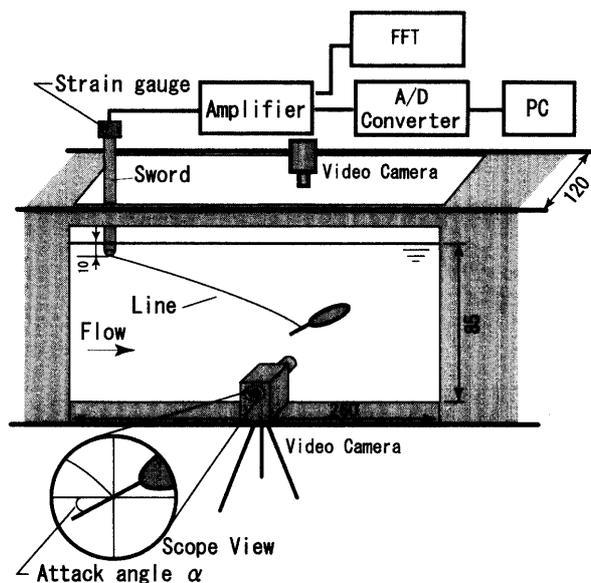


Fig. 4. Schematic diagram showing the flume tank and the data sampling flow. Figures show the length in cm.

状態のリップの先端とボディの後端を結ぶ基線と水流とのなす角度を流れに対するルアーの迎角 ( $\alpha$ ) として計測した。

本実験中の水温は 17~22°C であった。また、供試ルアーの全長を代表長さとする、実験流速 40~80 cm/s の範囲で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。

## 結 果

**リップ形状別のタイドアイの位置と迎角との関係** 各リップ形状 ( $\lambda$ ) におけるタイドアイの位置 ( $C_t, C_s$ ) とルアーの迎角 ( $\alpha$ ) との関係を流速別に Fig. 5 に示した。Fig. 5(A), (C), (E) はタイドアイの位置を  $C_t$  で表し、Fig. 5(B), (D), (F) はタイドアイの位置を  $C_s$  で表している。各流速においてタイドアイの位置がリップの前方から後方へ移動して  $C_t$  および  $C_s$  の値が大きくなるにしたがってルアーの迎角が大きくなった。タイドアイの位置 ( $C_t$ ) とルアーの迎角 ( $\alpha$ ) との関係を比較すると、各流速においてタイドアイの位置 ( $C_t$ ) の値が等しい場合、リップの縦横比 ( $\lambda$ ) の値が大きくなるにしたがって迎角 ( $\alpha$ ) も大きくなった。また、Fig. 5(E) よりタイドアイの位置 ( $C_t$ ) が 0.2 の場合、リップの縦横比  $\lambda = 0.3$  では迎角 ( $\alpha$ ) が 13°,  $\lambda = 2.0$  では  $\alpha$  が 54° となり、その差が 41° となった。

そこで、タイドアイの位置をルアーの平面投影面積比 ( $C_s$ ) で表して迎角 ( $\alpha$ ) と比較すると、各流速でリップ形状 ( $\lambda$ ) の違いによってタイドアイの位置 ( $C_s$ ) が等しい場合の迎角 ( $\alpha$ ) の差は最大 19° となった。例え

ば、Fig. 5(F) より、 $C_s = 0.2$ 、リップの縦横比  $\lambda = 0.3$  では迎角 ( $\alpha$ ) が 13°,  $C_s = 0.23$ ,  $\lambda = 2.0$  では  $\alpha$  が 16° となり、その差が 3° であった。この場合、リップの縦横比  $\lambda = 0.3, 0.5, 1.0$  ではタイドアイの位置 ( $C_s$ ) の変化に対する迎角 ( $\alpha$ ) の変化は同様の傾向を示した。

本実験では、流速 40, 60, 80 cm/s においてルアーの迎角 ( $\alpha$ ) は 6° から 57° の範囲となったが、 $C_s = 0.3$  となるタイドアイの位置において迎角が 50° 以上の場合はルアーが上下に不安定な運動を示した。また、 $\lambda = 1.5, 2.0$  で  $C_s = 0.21$  以下ではルアーが左右への蛇行を示すことがあり、この場合はルアーの迎角を計測できなかった。

**リップ形状別のタイドアイの位置とライン張力との関係** リップ形状 ( $\lambda$ ) 別のタイドアイの位置 ( $C_t, C_s$ ) と平均張力との関係を実験流速毎に Fig. 6 に示した。Fig. 6(A), (C), (E) はタイドアイの位置を  $C_t$  で表し、Fig. 6(B), (D), (F) はタイドアイの位置を  $C_s$  で表した。各流速においてタイドアイの位置がリップの前方から後方へ移動して  $C_t$  および  $C_s$  の値が大きくなるにしたがって平均張力が大きくなった。Fig. 6(A), (C), (E) より、タイドアイの位置を長さ比 ( $C_t$ ) で表すと、同一  $C_t$  ではリップの縦横比 ( $\lambda$ ) が大きくなるにしたがって平均張力が大きくなった。これは Fig. 5(A), (C), (E) におけるタイドアイの位置 ( $C_t$ ) とルアーの迎角 ( $\alpha$ ) の関係と同様の傾向を示した。また、タイドアイの位置を面積比 ( $C_s$ ) で表すと、長さ比 ( $C_t$ ) で表した場合と比較して、タイドアイの位置が等しい場合、リップ形状 ( $\lambda$ ) の変化による平均張力の変化は小さくなった。

Fig. 5(A), (C), (E) および Fig. 6(A), (C), (E) から、リップの縦横比 ( $\lambda$ ) が 0.3 から 2.0 へと大きくなると、長さ比  $C_t$  の増大に伴って迎角 ( $\alpha$ ) および平均張力の増大傾向が高まることが確認された。つまり、リップの縦横比 ( $\lambda$ ) が大きい場合はタイドアイの設定位置によって迎角が大きく変化することが示唆されている。また、本実験では  $\lambda = 1.5, 2.0$  において  $C_s \leq 0.21$  で迎角 ( $\alpha \leq 30^\circ$ ) 以下の場合および  $C_s \geq 0.30$  で迎角 ( $\alpha \geq 50^\circ$ ) の場合には、ルアーの左右への蛇行や上下への不安定な運動が見られた。このことから、蛇行や失速がなく相対的に安定した潜行運動を示すタイドアイの設定範囲はリップの縦横比 ( $\lambda$ ) が大きくなるにつれて小さくなり、本研究においてこの範囲は  $C_s = 0.2 \sim 0.3$  という結果が示された。

また、タイドアイの位置がリップの前方から後方へ移動して  $C_t$  および  $C_s$  の値が大きくなり、ルアーの迎角 ( $\alpha$ ) が大きくなるにしたがってルアーに作用する流体抵抗も増大し、これに伴って平均張力も増大したものと考えられた。そこで、ルアーの迎角 ( $\alpha$ ) と平均張力との関係について検討した。

**ルアーの迎角とライン張力との関係** リップ形状 ( $\lambda$ )

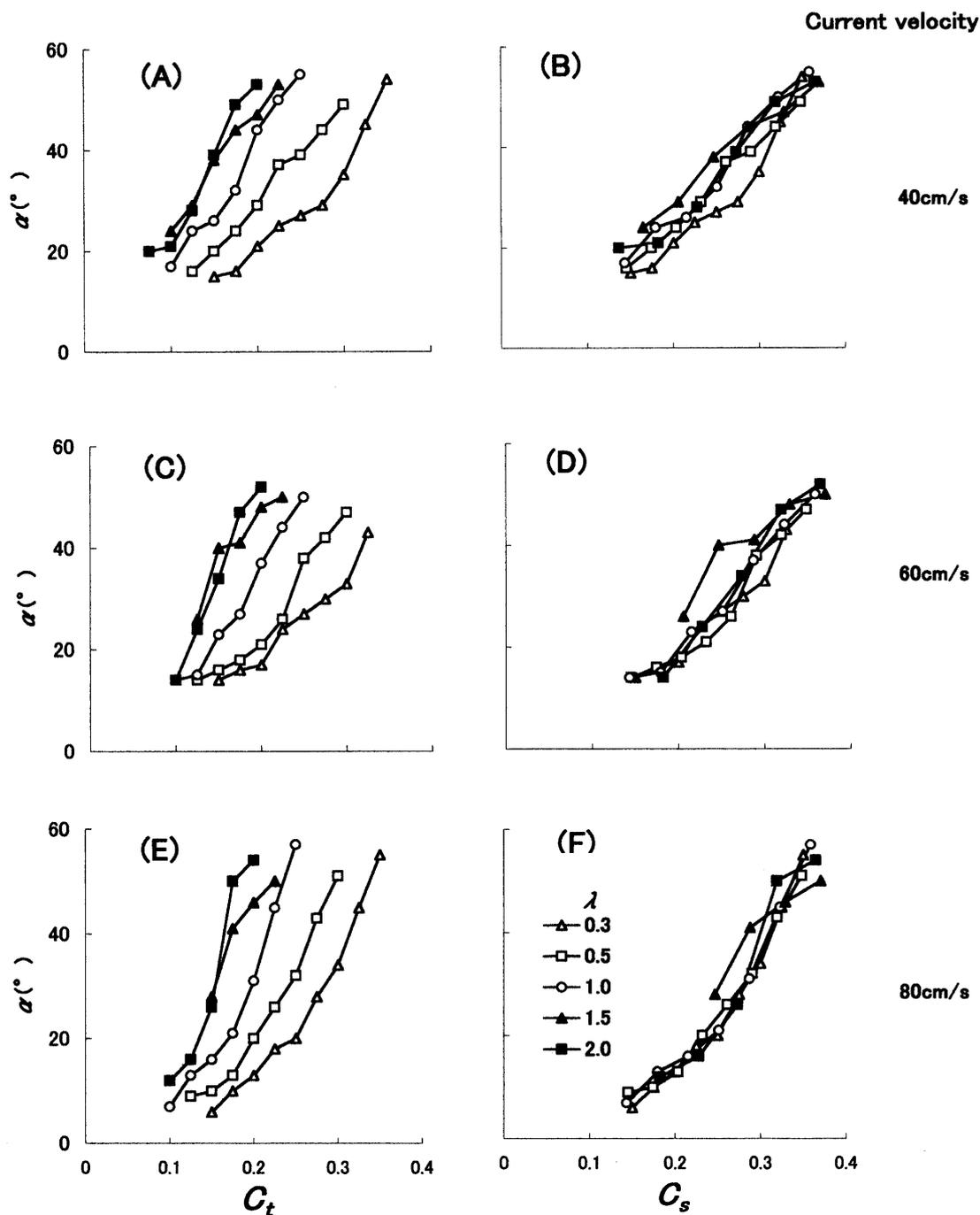
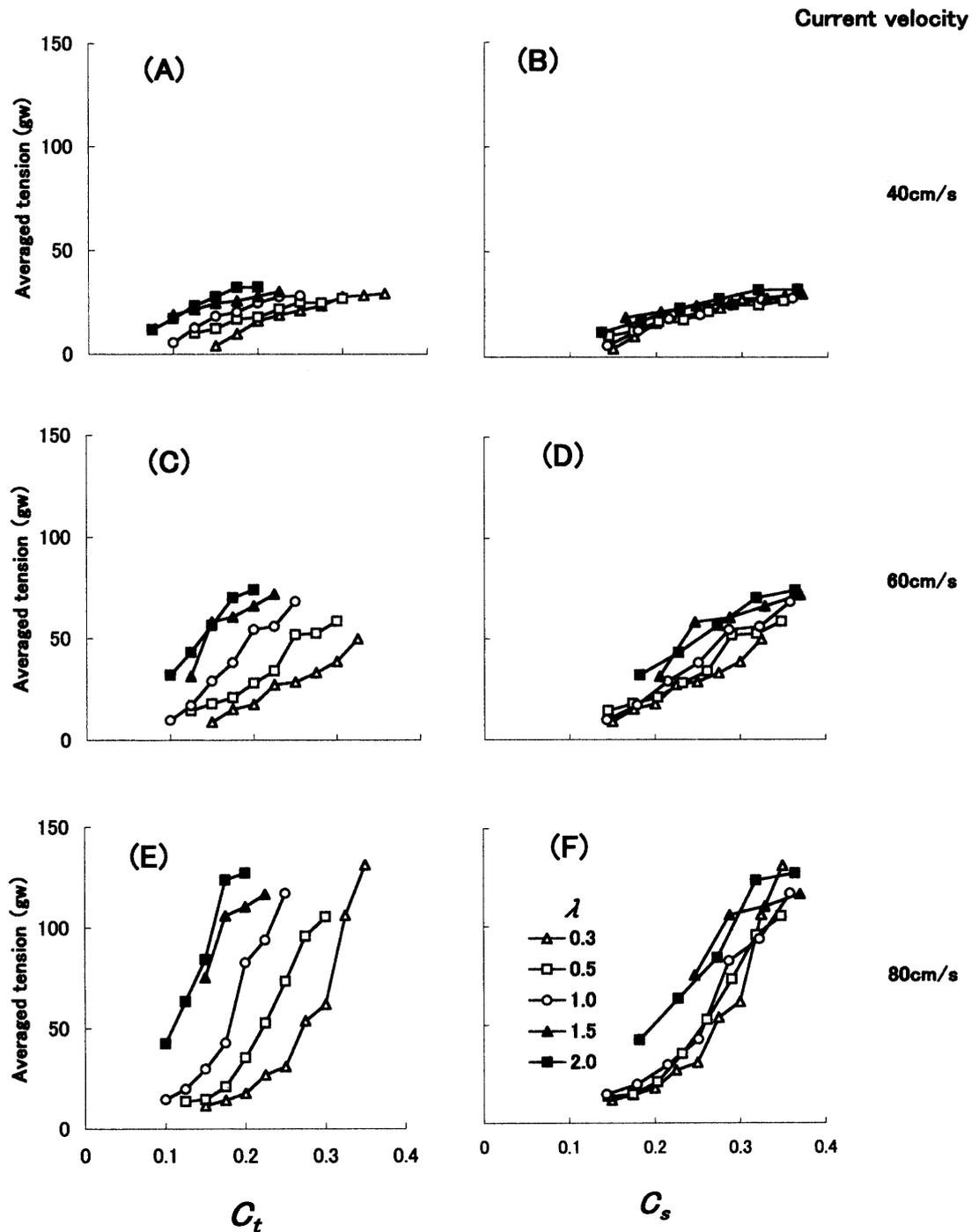


Fig. 5. Relationship between the indexes ( $C_t$ ,  $C_s$ ) of tied-eye positions and attack angle ( $\alpha$ ) of experimental lures for five specific lip shapes (aspect ratio  $\lambda=0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ ) in the flume tank (current velocity = 40, 60, 80 cm/s). In left graphs (A), (C), (E), the index of tied-eye position is shown by  $C_t$ . In right graphs (B), (D), (F), the index of tied-eye position is shown by  $C_s$ .

別にルアーの迎角 ( $\alpha$ ) と平均張力との関係を Fig. 7 に示した。各流速においてルアーの迎角 ( $\alpha$ ) の増大に伴って平均張力も増大した。流速別に見ると、流速 40 cm/s におけるルアーの迎角 ( $\alpha$ ) の増大に伴う平均張力の増大幅は、各リップ形状 ( $\lambda$ ) において類似の変化傾向を示した (Fig. 7(A))。また、リップ形状 ( $\lambda$ ) の違い

によって迎角 ( $\alpha$ ) と平均張力との関係に違いが見られなかった。流速 80 cm/s ではルアーの迎角 ( $\alpha$ ) が  $30^\circ$  以下の場合、縦横比  $\lambda=2.0$  のリップは  $\lambda<2.0$  のリップよりも迎角に対する平均張力の値が大きくなった (Fig. 7(C))。これはルアーの潜行運動を水槽上面から撮影した映像を解析した結果より、リップの縦横比  $\lambda=1.5$ ,



**Fig. 6.** Relationship between the indexes ( $C_t$ ,  $C_s$ ) of tied-eye positions and average tensions on the line of experimental lures for five specific lip shapes (aspect ratio  $\lambda = 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ ) in the flume tank (current velocity = 40, 60, 80 cm/s). In left graphs (A), (C), (E), the index of tied-eye position is shown by  $C_t$ . In right graphs (B), (D), (F), the index of tied-eye position is shown by  $C_s$ .

2.0においてルアーの迎角 ( $\alpha$ ) が  $30^\circ$  以下の場合、ルアーが左右への蛇行を示したことによるものと考えられた。また、同一迎角ではリップの縦横比 ( $\lambda$ ) の増大に伴って平均張力が増大する一定の傾向は確認できなかった (Fig. 7(A), (B), (C))。

本研究においてルアーの潜行運動を水槽上面から撮影した映像を解析した結果、タイドアイの位置の違いによって、ルアーがヨーイングを主成分とした振動を示す場合があることが明らかとなり、この結果は三木ら<sup>1)</sup>と同様の結果となった。そこで、ライン張力の変動周波数と

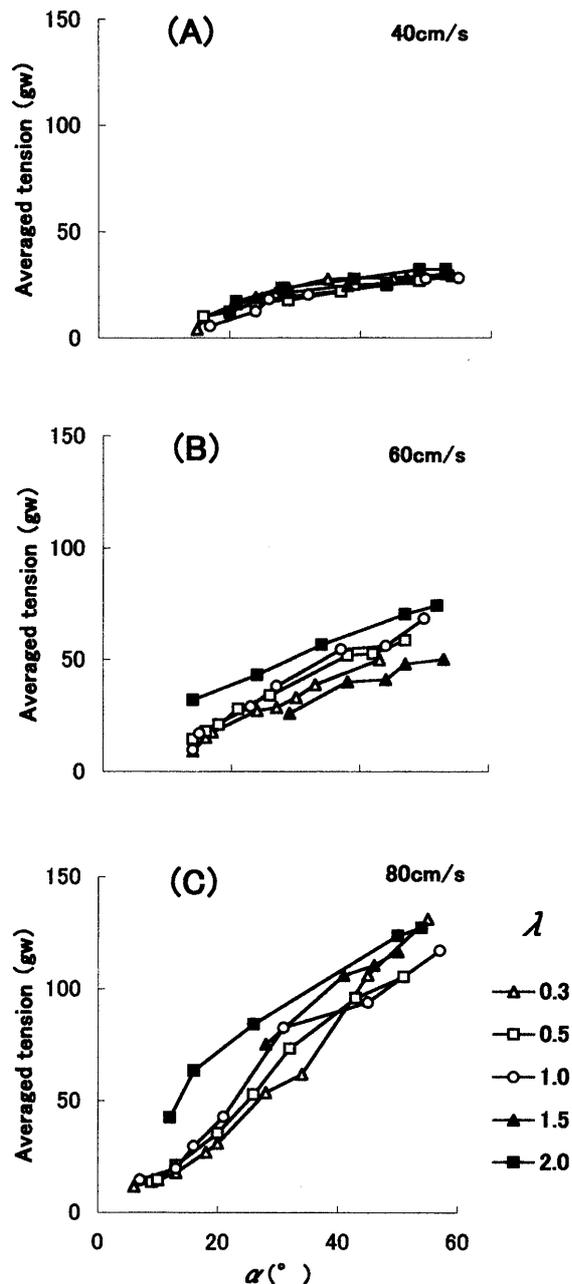


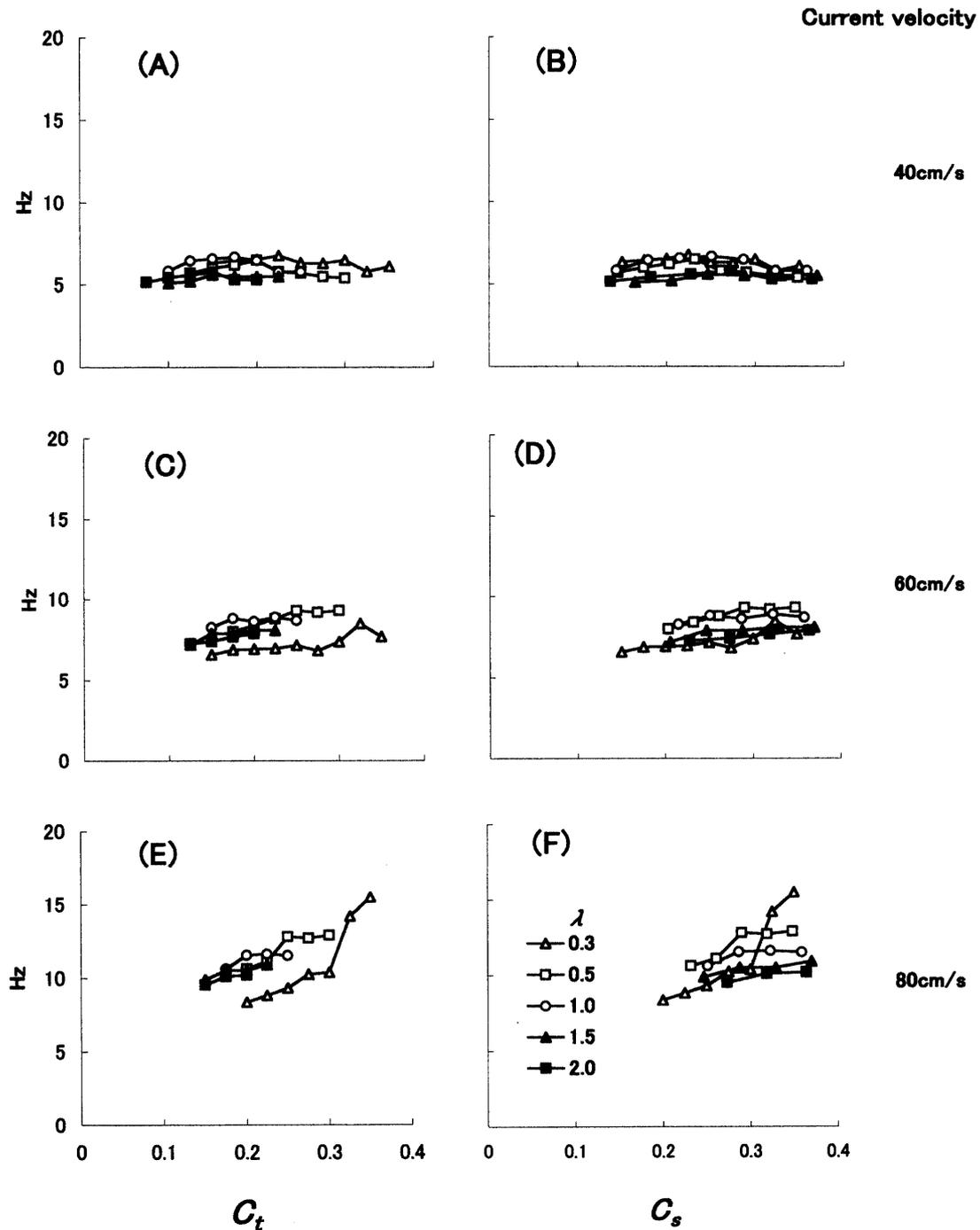
Fig. 7. Relationship between attack angle ( $\alpha$ ) and average tensions of experimental lures for five specific lip shapes (aspect ratio  $\lambda=0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ ) in the flume tank (current velocity = 40, 60, 80 cm/s).

水槽上面からのビデオ撮影で得たルアーの運動画像データとの対応を調べ、潜行中のルアーの振動周波数について検討した。

リップ形状別のタイダイの位置とルアーの振動周波数との関係 各リップ形状 ( $\lambda$ ) におけるタイダイの位置 ( $C_i, C_s$ ) とルアーの振動周波数との関係を流速別に Fig. 8 に示した。Fig. 8(A), (C), (E) はタイダイの位置を  $C_i$  で示し、Fig. 8(B), (D), (F) はタイダイ

の位置を  $C_s$  で示した。Fig. 8(A) および Fig. 8(C) より流速 40, 60 cm/s ではタイダイの位置がリップの前方から後方へ移動して  $C_i$  の値が大きくなってもルアーの振動周波数には顕著な違いが見られなかった。また、この場合はリップの形状 (縦横比  $\lambda$ ) の違いによってもルアーの振動周波数には顕著な違いが見られなかった。しかし、Fig. 8(E) より流速 80 cm/s では、タイダイの位置がリップの前方から後方へ移動して  $C_i$  の値が大きくなるにつれてルアーの振動周波数が高くなる傾向が見られた。また、リップの縦横比 ( $\lambda$ ) が 2.0 から 0.3 へと小さくなるにしたがって、この  $C_i$  の増大に伴うルアーの振動周波数の増大傾向が大きくなった。この時のルアーの潜行運動を水槽上面および側面から撮影した映像によって解析した結果、流速 80 cm/s,  $\lambda=0.3$  で  $C_i \geq 0.3$  の場合はルアーの迎角の増大に伴いルアーの振動はヨーイング振動からローリングを主体とする振動へと変化する様子が確認された。<sup>1)</sup> Fig. 5, 6 より、タイダイの位置を  $C_s$  で表した場合は  $C_i$  で表した場合と比較して、 $C_s$  の値が等しければリップ形状 ( $\lambda$ ) の変化によるルアーの迎角 ( $\alpha$ ) および平均張力の変化が小さくなり、 $C_s$  の変化に伴ってリップ形状別のルアーの迎角 ( $\alpha$ ) および平均張力の変化が一定の傾向を示した。しかし、Fig. 8 よりルアーの振動周波数についてはタイダイの位置  $C_i$  と  $C_s$  との表し方の違いによって Fig. 5, 6 と同様の傾向は見られなかった。そこで、タイダイの位置 ( $C_i$ ) の変化に伴うルアーの振動周波数の変化が見られなかった流速 40 cm/s,  $\lambda=0.3$  の場合に注目して、タイダイの位置の移動に伴うルアーの振動形態の変化をライン張力の経時変化および変動周波数によって検討した。また、リップの縦横比 ( $\lambda$ ) が 0.3 の場合は  $C_i=C_s$  となるため図中ではタイダイの位置を  $C_i$  で示した。

ライン張力の経時変化と張力の変動周波数 流速 40 cm/s, リップの形状  $\lambda=0.3$  におけるライン張力の経時変化を Fig. 9(A) に示し、それに対応するライン張力の変動周期を FFT アナライザーで処理したグラフとして Fig. 9(B) に示した。タイダイがリップの前方に位置し  $C_i$  の値が小さい  $C_i=0.15, 0.18$  の場合は、ルアーの潜行運動を水槽上面および側面から撮影した映像の解析結果からも、ルアーには振動が認められず、この場合 Fig. 9(A) より、ライン張力の変動は見られなかった。また、タイダイの位置がリップの前方から後方へ移動して  $C_i$  の値が 0.2 から 0.3 へと大きくなるにしたがって、ルアーの振動に伴うライン張力の最大値と最小値との差が大きくなった。この  $C_i=0.2 \sim 0.3$  の範囲では、Fig. 9(B) よりライン張力の変動周波数は 6.4 Hz 付近となった。この時のルアーの潜行運動を水槽上面および側面から撮影した映像によって解析した結果、ルアーはヨーイング振動をしており、このヨーイング振動の周期



**Fig. 8.** Relationship between tied-eye position and vibrating frequency of experimental lures for five specific lip shapes (aspect ratio  $\lambda=0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ ) in the flume tank (current velocity=40, 60, 80 cm/s). In left graphs (A), (C), (E), the index of tied-eye position is shown by  $C_t$ . In right graphs (B), (D), (F), the index of tied-eye position is shown by  $C_s$ .

とライン張力の変動周期 (Fig. 9(A)) が一致した。<sup>1)</sup>このことから, Fig. 9(B)のライン張力の変動周波数をルアーの振動周波数と考えると, Fig. 5, Fig. 6よりタイドアイの位置の違いによってルアーの迎角 ( $\alpha$ ) およびラインの平均張力は変化するが, 流速 40 cm/sのヨーイング振動時にはタイドアイの位置の違いによってル

アーの振動周波数に顕著な変化は見られず, これはリップの形状 ( $\lambda$ ) が異なる場合でも同様の結果となった。

#### 考 察

ルアーの迎角とライン張力 タイドアイの位置を長さ比 ( $C_t$ ) で表した場合は, リップの縦横比 ( $\lambda$ ) が大き

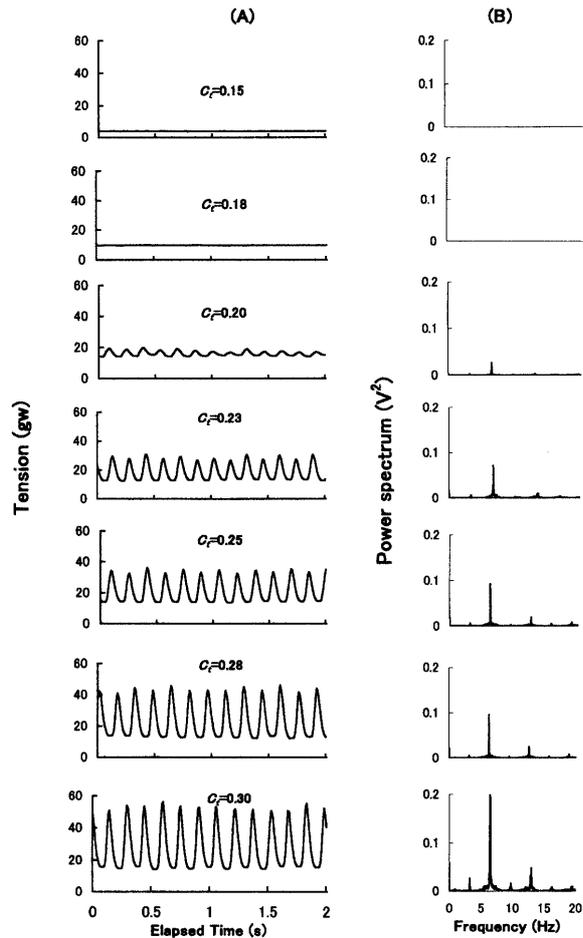


Fig. 9. Periodic fluctuation in the line tension of experimental lures (aspect ratio  $\lambda=0.3$ ) with different tied-eye position  $C_t$  ( $=0.15, 0.18, 0.20, 0.23, 0.25, 0.28, 0.30$ ) and the specific current velocity (40 cm/s) in the flume tank. Left graph (A) shows the fluctuation of line tension for two seconds. Right graph (B) shows the power spectrum in vibration frequency on the line tension of lures.

くなるに伴い同一  $C_t$  での迎角 ( $\alpha$ ) および平均張力が大きくなった。しかし、タイドアイの位置を面積比 ( $C_s$ ) で表した場合は、同一  $C_s$  ではリップの縦横比 ( $\lambda$ ) の違いによる迎角 ( $\alpha$ ) および平均張力の差が小さくなること明らかとなった。このことから、リップの縦横比 ( $\lambda$ ) が異なる場合においても面積比 ( $C_s$ ) によってタイドアイの位置の変化に伴う迎角 ( $\alpha$ ) および平均張力の変化を比較検討できるものと考えられた。

縦横比の異なる平板の場合、同一迎角では平板の縦横比 ( $\lambda$ ) の増大に伴って抗力係数が増大することが知られている。<sup>3)</sup> しかし、供試ルアーの場合、同一迎角ではリップの縦横比 ( $\lambda$ ) の増大に伴って平均張力が増大する一定の傾向は確認できなかった。これは平板のリップと立体形状のボディの組み合わせによって供試ルアーが

構成されていること、および潜行に伴いタイドアイの位置を支点としてルアーが3次元方向に運動していることによるものと推察された。

**ルアーの振動** 流速 80 cm/s ではタイドアイの位置の移動によって  $C_t$  の値が大きくなりルアーの迎角 ( $\alpha$ ) が増大することによって、振動の成分がヨーイングからローリングへと徐々に変化し、それに伴ってルアーの振動周波数が増大した。しかし、流速 40 cm/s ではタイドアイの位置の移動によってルアーの迎角 ( $\alpha$ ) が増大した場合でもルアーの振動周波数に大きな変化は見られなかった。このことから、ルアーの迎角 ( $\alpha$ ) および張力と比較して、ルアーの振動周波数はタイドアイの位置の移動に伴って大きく変化せず、この傾向は低流速時 (本研究では流速 40 cm/s 時) において顕著に見られることが明らかとなった。これらのルアーの振動は、ルアー表面からの流れの剥離によってカルマン渦列が発生し、それに伴ってルアー周りの圧力分布<sup>7)</sup> が周期的に変動することによるものと推察される。<sup>1)</sup> タイドアイの位置がリップの前方にあり、流れに対するルアーの迎角が小さい場合は、リップの前縁およびボディの前縁から剥離した流れによってボディ側方付近で発生したカルマン渦の変動揚力がボディの後端部分に作用することによってルアーは流れに対して鉛直軸周りのヨーイング振動を起こすものと推察される。また、タイドアイの位置がリップの後方に移動してルアーの流れに対する迎角が増大するにしたがってボディの底面部分が流れに対して後方に位置するため、このボディの底面付近がカルマン渦の変動揚力を受けることによってルアーがボディの前後端を結んだ基線を軸としたローリング振動を起こすものと考えられる。これらの変動揚力の作用部位の違いによってルアーの振動形態がヨーイングからローリングへと変化しているものと推察されるが、この詳細なメカニズムについては拡大固定模型実験によって説明する必要がある。

以上の結果をまとめると次のようになる。

1. タイドアイの位置をルアーの長さ比  $C_t$  (Fig. 2) で表した場合、迎角 ( $\alpha$ ) および平均張力が等しくなる  $C_t$  の値は、リップの形状 ( $\lambda$ ) の違いによって大きく異なる。
2. タイドアイの位置をルアーの平面投影面積比  $C_s$  (Fig. 2) で表すことによって、 $C_s$  の値が等しいとリップ形状 ( $\lambda$ ) の違いによる迎角 ( $\alpha$ ) および平均張力の差は小さくなる。
3. 蛇行や失速がなく相対的に安定した潜行運動を示すタイドアイの設定範囲はリップの縦横比 ( $\lambda$ ) が大きくなるにつれて小さくなり、流速が 40~80 cm/s では  $C_s=0.2\sim0.3$  となった。
4. 流速 40 cm/s ではタイドアイの位置の違いによ

てライン張力の変動幅は変化するが、ルーアの振動周波数の変化は小さい。

5. 流速が 40 cm/s から 80 cm/s へと増大すると、タイドアイの位置がリップの前方から後方へ移動するにつれてルーアの振動周波数が高くなる。

したがって、タイドアイの位置を  $C_l$  で表した場合と  $C_s$  で表した場合とでは、タイドアイの位置とルーアの迎角 ( $\alpha$ ) およびライン張力との関係が異なることが示された。

オッターボードを使用した回流水槽における固定模型実験では平板の縦横比および反り比別に迎角と揚抗力との関係が調べられており、<sup>8)</sup> その固定模型実験は迎角の設定を変化させて行われる。しかし、タイドアイを支点として潜行するルーアはタイドアイの設定位置によってルーアの迎角が変化する。そのため、リップおよびボディ形状の異なるルーアにおいて潜行時の迎角が一致するようタイドアイを設定することは困難である。また、ボディあるいはリップ形状の異なるルーアにおいてタイドアイの位置を  $C_l$  で表すと、リップやボディ形状の違いによってタイドアイの位置  $C_l$  とルーアの迎角およびライン張力との関係が大きく異なる。そのため、これらの形状別に潜行運動を比較検討することは困難である。このことから、ボディあるいはリップの形状の異なるルーアについて潜行運動を比較検討する場合には、タイドアイの位置を  $C_s$  で定義することによって、タイドアイの位置の違いによるルーアの迎角およびライン張力の差を小さくすることができる。

流体力学の諸分野では平板、湾曲版、角柱、円柱、球あるいは立方体を流体中に固定した場合の形状と流体特性について明らかにされている。<sup>7)</sup> しかし、本研究で対象としたクランクベイトのリップとボディのように形状の異なるものを組合わせて曳行（曳航）した場合の形状と潜行運動について議論した報告は見当たらない。また、本研究ではタイドアイの位置を長さ比  $C_l$  で表すと同時に面積比  $C_s$  で表すことで、縦横比が異なるリップとボディを組合わせた場合の潜行運動について解析をした。海洋において中層の諸項目（水温、塩分等）を船舶の巡航速度で連続的に計測できる簡易な曳航体を設計する場合、計測用のセンサー等を内蔵する耐圧容器部分と潜行板部分の 2 つの形状の異なる構造物を組合わせる事例にも、曳行体の潜行運動の制御に面積比  $C_s$  を応用できるものと考えられる。

また、平面図上の縦横比が異なるリップとボディを組合わせた場合については、回流水槽における潜行実験および拡大固定模型実験により、同一迎角におけるタイドアイの位置・長さ比  $C_l$  と圧力中心係数  $C_p$  との関係について考察するとともに、タイドアイの位置を示す指標として面積比  $C_s$  という概念を導入し、圧力中心の位置を面

積比で表した場合の相互の関係についても解析をする必要がある。そのため、リップ形状別のルーアの運動特性について、面積比  $C_s$  だけで議論することの可能性は、これらの拡大固定模型実験の結果により検討する必要がある。

ルーアの形状の違いによる流体特性の違いは、ルーア表面からの流れの剥離やカルマン渦列の発生によるものであると推察される。<sup>9)</sup> これまでに、流れの剥離やカルマン渦列の発生については、タフト法<sup>10)</sup> や水素気泡法<sup>11)</sup> によるオッターボード周りの流れの可視化によって解析されている。ルーアの形状の変化に伴ってルーア表面からの流れの剥離やカルマン渦列の発生の様子がどのように変化するのかを解明するためには、今後、ルーア周りの流れの可視化を行う必要がある。

また、ルーアの比重や重心位置およびフックの有無によっても潜行運動が変化する可能性がある。これらの点についても今後、研究が必要であろう。

## 謝 辞

本研究に対し、機材の提供や有益な助言を下さったリョービ株式会社の坪井 均氏、実験模型の製作に当たり資材を提供下さった株式会社玉井環境システムの佐藤圭司氏に深く感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 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ーアのボディ形状と潜行運動. 日本誌 2000; **67**: 47-55.
- 2) 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ドアイの位置による潜行深度の変化. 日本誌 1999; **65**: 839-846.
- 3) 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. 日本誌 1993; **59**: 79-84.
- 4) 本多勝司, 鈴木 誠, 松田 峻, 宮崎芳夫, 小池孝知, 井上 清, 磯打 勉. 新設漁具模型実験用回流水槽の特性. 東京水産大学研究報告 1978; **65**: 15-22.
- 5) 三浦汀介. FFT法による擬餌針の振動解析. 日本誌 1980; **46**: 925-928.
- 6) 三浦汀介, 清水 晋, 西山作蔵. ルーア（擬餌針）の振動解析. 日本誌 1985; **51**: 699-706.
- 7) 土方邦夫. 「流体力学ハンドブック」（日本流体力学会編）丸善株式会社, 東京, 1987; 232-234.
- 8) 朴 倉斗, 松田 峻, 胡 夫祥, 東海 正. 反り比の異なる湾曲版の流体特性に及ぼす底面の影響. 日本誌 1993; **59**: 627-134.
- 9) 日野幹雄. 「流体力学第一版」朝倉書店, 東京, 1992; 167.
- 10) 朴 倉斗, 松田 峻, 東海 正. 水素気泡発生法による湾曲版の周りの流れの可視化. 日本誌 1994; **60**: 485-491.
- 11) 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. 日本誌 1994; **60**: 193-199.