

魚のひれのシミュレーション

—— 第2報 振動弾性板により発生する推進力の実験的研究 ——

岩 永 正 裕*・山 岸 陽 一*

Simulation of Motion of Caudal Fin

(2nd Report, Experimental study about the propulsive force generated by rotating oscillation of elastic plates)

Masahiro IWANAGA and Yōichi YAMAGISHI

Abstract

To simulate the motion of a caudal fin of fish, it is necessary to know the flow around the moving fin and to know how the fin is deformed by the stress of fluid.

In the first stage, we studied the method to estimate the deformation of an elastic plate in the steady flow by computer simulations⁽¹⁾.

In this stage, we made the experimental apparatus generating rotating oscillation of elastic plates and measuring propulsive forces. And we studied about the relation between propulsive forces and the shape of fin or the conditions of oscillation by experiment.

As a result, the average propulsive forces could be arranged by the non-dimensional quantities concerned with strains.

1. ま え が き

魚のひれを応用した推進装置の開発にあたり、どのような要因が推進力に影響するかを知る必要がある。そのために、魚のひれのシミュレーションを行うことが本研究の目的である。第一報では一様流中に流れと角度をもって置かれた弾性板の変形とその周りの流れの予測を行う手法を述べた¹⁾。本報では実際の魚のひれの非定常な運動を取り扱うために弾性板をモータにより正弦波形で回転振動させる装置を製作し、回流水槽の供試流路部に設置して回流水槽の水を流さない状態で弾性板を運動させたときに得られる推進力を測定して、弾性板の形状や運動条件が推進力にどのように影響を及ぼすかを実験的に調べる。

記 号

E : 弾性板の縦弾性係数
 F : 平均推進力
 f : 振動周波数
 H : 弾性板の高さ
 L : 弾性板の長さ
 t : 弾性板の厚さ
 ρ : 水の密度
 θ : 片振幅角

2. 実験装置および方法

Fig. 1 に実験装置の概略を示す。実験装置は推進力を測定する固定部と弾性板を回転振動させる可動部からなり、ともに開放型回流水槽上部に設置されている。可動部は直動型ベアリングを介して水流方向にのみほとんど抵抗なく移動できる板の上に、エンコーダ内蔵のサーボモータとサーボドライバをのせたもので、

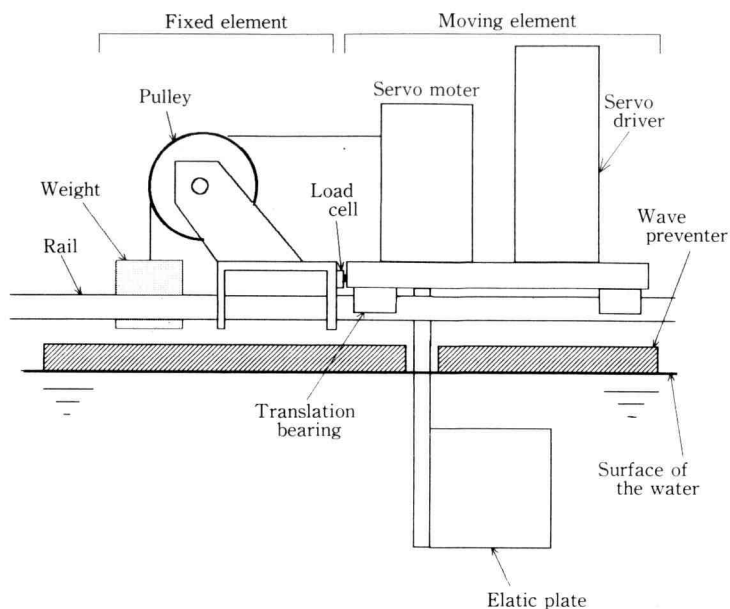
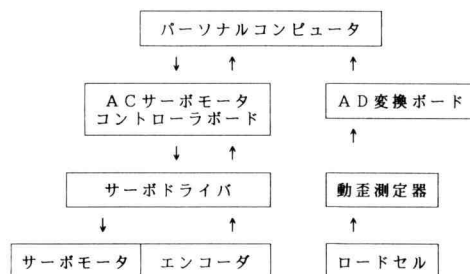


Fig. 1. Experimental apparatus.

サーボモータの軸にひれの役割をする弾性板を取り付ける。ひれが発生する推進力により可動部は固定部を押し、この力を固定部に取付けた荷重変換器（ロードセル、容量 20N）を用いて計測する。ひれが負の力を発生したときにもその力を計測できるように、あらかじめ可動部から引き出したワイヤーに、固定部に設置したプーリーを介して 610 g のおもりを釣り下げて、可動部と固定部が常時接触するようにした。

次に示すようにパーソナルコンピュータには AC サーボモータコントローラボードと AD 変換ボードが挿入されており、それぞれサーボモータの制御とロードセルの計測荷重の入力を行う。サーボモータの制御はパーソナルコンピュータの指示により AC サーボモータコントローラボードがサーボドライバを介してサーボモータに制御信号を送り回転振動をさせる。サーボモータ内蔵のエンコーダからサーボドライバを介して AC サーボモータコントローラボードにサーボモータの回転角度がフィードバックされ、パーソナルコンピュータは指示通りにサーボモータが回転したかをチェックすることができる。



実験は可動部から引き出したワイヤーに数種のおもりを換えて釣り下げてロードセルの検定を行った後、次のフローチャートに示す手順に従って進められる。パーソナルコンピュータはひれの回転振動の条件（周波数と片振幅角度）に従って制御信号を作成し、AC サーボモータコントローラボードからこの信号はサーボモータに送られサーボモータは回転振動をする。パーソナルコンピュータはひれが回転振動するにあたり可動部と固定部が密着していたかどうか、またモータの回転振動が予定通りであったかを監視し、回転振動の中心のずれを補正するように制御信号の補正を行う。再度ひれを回転振動させて発生する推力とモータの回転角度を自動計測し、回転角度が初期の目標値と許容誤差内（0.5%）であるときこれらのデータをフ

ロッピーディスクに記録する。このようにして予めパーソナルコンピュータに実験条件を設定しておけばパーソナルコンピュータは自動的に一連の実験を行う。

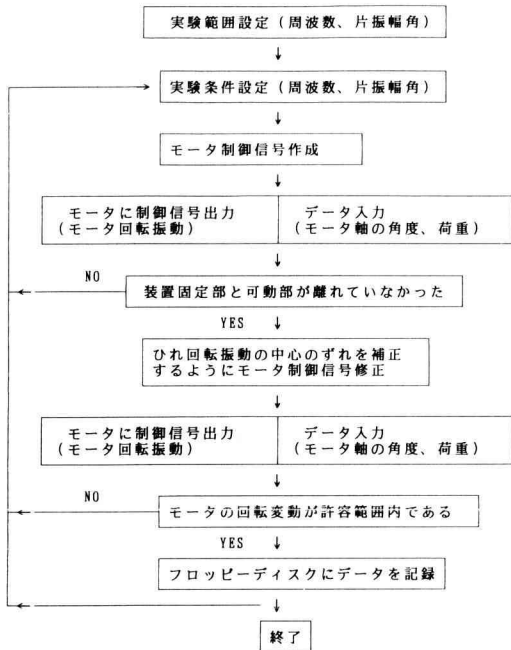


Table 1. The size of elastic plates.

Height(mm)	Length(mm)	Thickness(mm)
100.0	66.5	1.0
	80.0	1.0
	100.0	1.0, 1.5
	125.0	1.0
	150.0	1.0
80.0	100.0	1.0

Table 1 にひれとして使用した弾性板の形状を示す。弾性板は市販の ABS 樹脂の厚さ 1.0 mm と 1.5 mm の平板 (比重 1.07, 縦弾性係数 3.013×10^9 Pa) を用い, 高さ 80, 100 mm, 長さ 66.5~150 mm と形状を変化させて実験を行った。これらの弾性板はサーボモータ軸と直結された直径 12 mm の真鍮製の軸に固定されて回転振動する。

回転振動の条件は正弦波形とし, 周波数範囲を 0.5~6 Hz (0.5 Hz 間隔), 片振幅角の範囲を $5 \sim 30^\circ$ (5° 間隔) とし, 35 回回転振動させて 30 回目の振動について計測することとした。水槽の水面部には整波板を設置して弾性板の回転振動によって発生する波の影響を抑えて実験を行った。

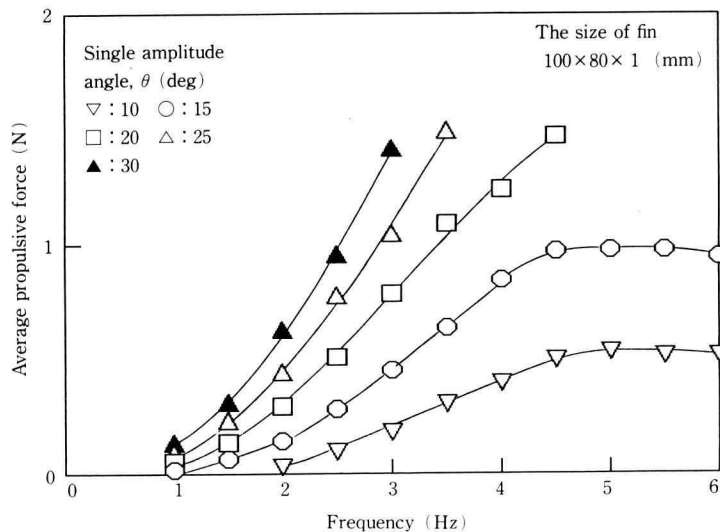


Fig. 2. Relation between average propulsive force and frequency.

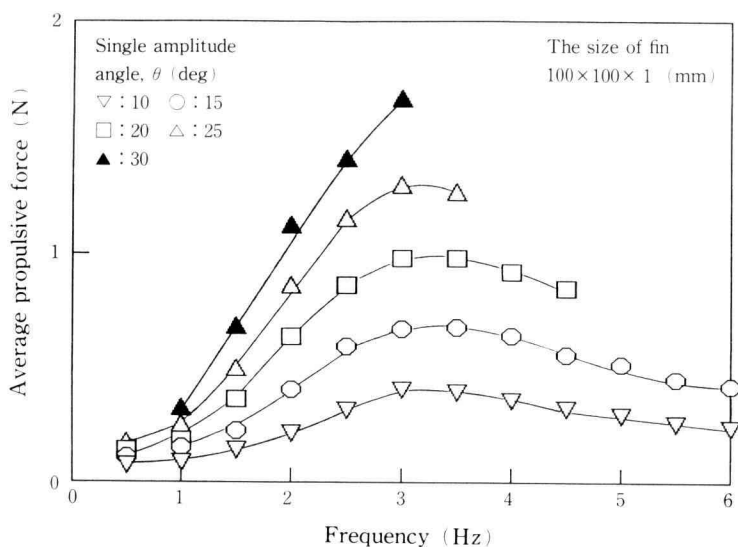


Fig. 3. Relation between average propulsive force and frequency.

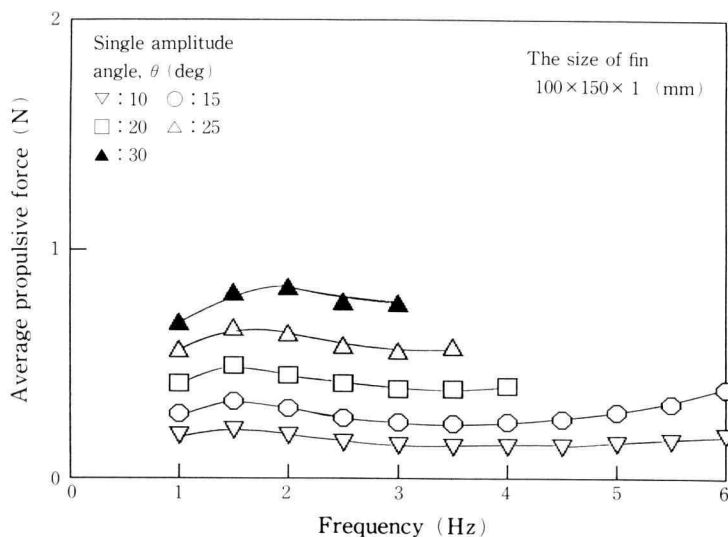


Fig. 4. Relation between average propulsive force and frequency.

3. 実験結果

Fig. 2 は高さ 100 mm, 長さ 80 mm, 厚さ 1 mm のひれを片振幅角 $10 \sim 30^\circ$, 振動周波数 $1 \sim 6$ Hz の範囲で回転振動させたときの平均推進力 F と振動周波数 f の関係を示す。片振幅角が大きいほど平均推進力は増し, 最大平均推進力を得る振動周波数は, 片振幅角によらずほぼ一定であることがわかる。Fig. 3, Fig. 4 は

ひれ形状がそれぞれ $100 \times 100 \times 1$ mm, $100 \times 150 \times 1$ mm の場合の Fig. 2 と同様の図である。

Fig. 5 は高さ 100 mm, 長さ 100 mm, 厚さ 1 mm の弾性板を周波数 2 Hz で回転振動させたとき平均推進力を縦軸に横軸に片振幅角度をとったもので, 実線は片振幅角度の 1.5 乗に比例する曲線を表しており, 平均推進力は片振幅角度のほぼ 1.5 乗に比例して増加することがわかる。

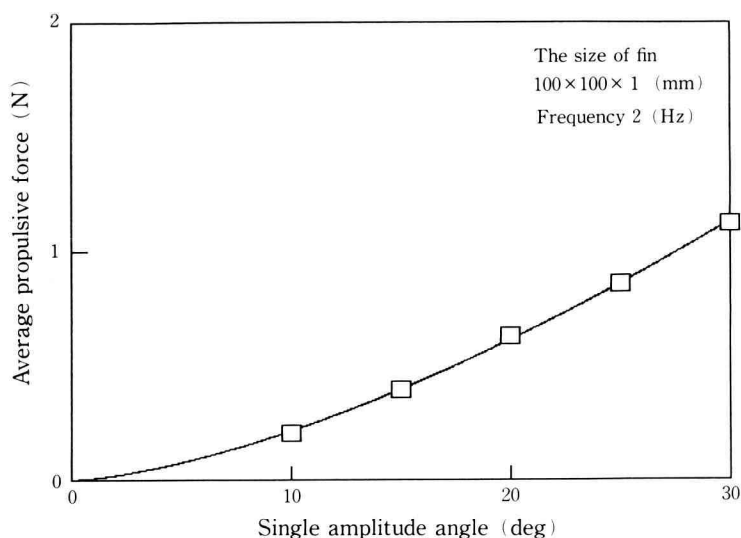


Fig. 5. Relation between average propulsive force and single amplitude angle.

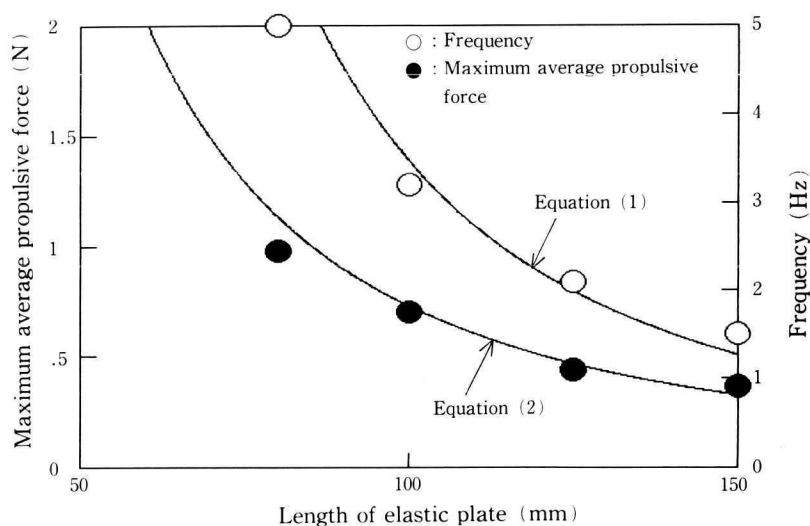


Fig. 6. Relation between maximum average propulsive force and length of elastic plate.

Fig. 6 は高さ 100 mm, 厚さ 1 mm の板を片振幅角 15° で周波数を変化させて回転振動させたとき, 平均推進力が最大となる振動周波数とそのときの平均推進力を求め, 板の長さを変えて比較したものである。板の長さが短いほど最大平均推進力が得られる振動周波数は大きくなり平均推進力も増加することがわかる。図中の実線は後述する。

Fig. 7 は高さ 80, 100 mm, 厚さ 1, 1.5 mm, 長さ

66.5 ~ 150 mm のひれについて片振幅角を $5 \sim 30^\circ$, 振動周波数 1 ~ 6 Hz の範囲で変化させた場合の実験値を整理したものではほぼ一本の曲線上に分布している。縦軸はひれが荷重を受けたときのひずみに関係した量であり, 横軸はひれの運動により発生する流体力がひれに働くことにより生じるひれのひずみに関連した量である。はじめ横軸の値が増加するに従い縦軸の値は増加するが, 横軸の値が約 0.04 のとき縦軸の値は最大

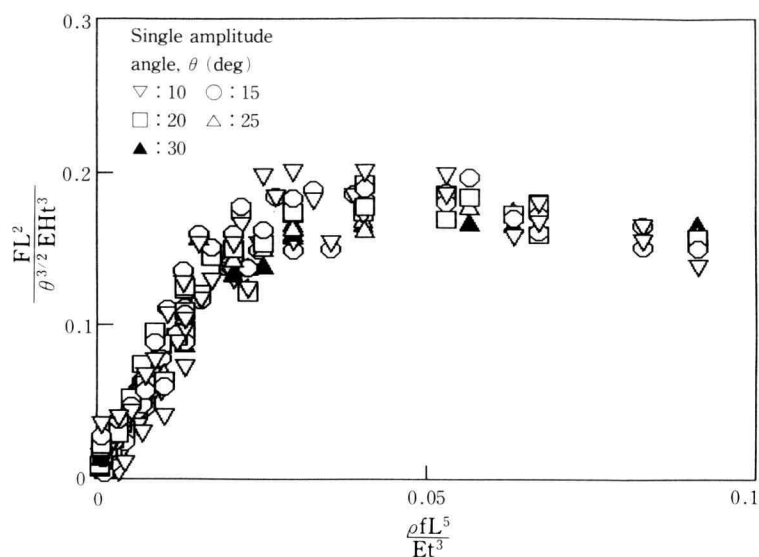


Fig. 7. Arrangement of propulsive force with nondimensional quantities.

となり約 0.18 の値をとって、その後はやや減少傾向にある。これは流体力が増加してひれのひずみが増加すると、変形が大き過ぎてひれが受ける力の推進力への寄与が減少すると考えられる。Fig. 6 の実線は、Fig. 7 の縦軸の最大値とそのときの横軸の値

$$\rho \frac{f^2 L^5}{Et^3} = 0.04 \quad (1)$$

$$\frac{FL^2}{\theta^{3/2}EHt^3} = 0.18 \quad (2)$$

を表し、実験点とはほぼ一致している。

4. む す び

弾性板の回転振動によって得られる平均推進力を弾性板の振動周波数、片振幅角、弾性板の高さ、長さ、厚

さを変化させて調べ、縦軸、横軸をひずみに関係する無次元量ではほぼ一本の曲線に整理できることがわかった。

5. 謝 辞

本研究は本学 4 年次卒業研究として行われたものであり、下記の諸君の実験結果をまとめたものである。ここに謝意を表します。

森戸 久男, 八島 秀之
安川 章, 平松 滝英, 吉井 学

参 考 文 献

- 1) 岩永・山岸, 魚のひれのシミュレーション, 神奈川工科大学研究報告, No. 17, (1993), 1.