マグロの筋肉骨格構造に由来する尾鰭の力学的特性

Mechanical Characteristics of Caudal Fin Resulting from Caudal Muscle-Skeletal Structure of Blue Fin Tuna

○栗田周治（信州大院） 正 森川裕久（信州大） 正 小林俊一（信州大）

Shuji KURITA, and, Shinshu University, 3-15-1 Tokida, Ueda, Nagano

Hirohisa MORIKAWA, Shinichi KOBAYASHI, Shinshu University

Key Words: Caudal fin, Fin ray, Flexural rigidity, Young's modulus, Tuna

1. はじめに

一般に、生物の構造と運動は高機能高性能であると考えられる。現在に至るまで水棲生物は長い年月をかけて環境に応じた多種多様な推進形態に進化してきた。そこで、水棲動物の運動、推進機構を模倣した推進体に関する研究が行われている。その中に高速魚の尾鰭の動きを模倣した推進用振動翼に関する研究がある。我々は高速魚であるマグロの尾鰭による推進方法に着目し、マグロの尾鰭の形状、翼の変形挙動についての調査を行い、そこで得られた知見をもとに振動翼推進に関する研究を行ってきた¹⁾。本研究では、実際のマグロの尾鰭の力学的特性を求め、それに基づいて模型翼を作製し振動翼推進装置による実験を行い、その翼挙動と推進特性の関係を明らかにすることを目的としている。今回は、マグロの尾鰭の力学的特性について報告する。

2. 実験装置および実験方法

尾鰭の力学的特性を調べるための曲げ試験装置の概略図を Fig.1 に示す。荷重は荷重棒により与え、尾鰭の変位はレーザー変位計(KEYENCE,LC-2100)により測定する。荷重棒、レーザー変位計、そして尾鰭を固定するテーブルを移動させることにより、任意の点に荷重を加えることができ、また任意の点の変位を測定することができる。

測定箇所を Fig.2 に示す。尾鰭を鰭条方向に 4 等分し体軸の方向から断面 A,B,C,D とし、断面 B の鰭条を前縁から鰭条 1,2,3...とした。断面 A の位置で固定し、断面 B の任意の鰭条に荷重を加え、断面 B の位置におけるすべての鰭条の変位を計測し、荷重点の鰭条を変化させ、同様にすべての鰭条の変位を測定した。断面 B を固定したときに断面 C の各鰭条の変位を、断面 C を固定したときに断面 D の各鰭条の変位を同様に測定した。各鰭条に荷重を加えたときの尾鰭全体の変位の仕方により弾性軸と考えられる鰭条を推測した。弾性軸に対応する鰭条の変位量 δ 、荷重 P 、固定断面と測定断面との間の距離 L を用い、片持ち梁に集中荷重を加えた場合のたわみの基本式より、尾鰭の測定区間の相当曲げ剛性 EI を式 (1) を用いて求めた。

$$EI = \frac{PL^3}{3\delta} \quad \dots (1)$$

但し、 E は固定断面と測定断面との間の平均ヤング率を表し、 I は断面 2 次モーメントを表す。

相当曲げ剛性から平均ヤング率を求めるために Fig.3 に示す尾鰭の断面形状を考えた。尾鰭の断面形状を半楕円、四角形、台形、そして三角形の組み合わせとし、計算をする際には、各領域の中間の断面形状を用いた。その断面 2 次モーメントは次式に示す。

$$I = \frac{\pi}{64} a^3 c + \frac{1}{12} a^3 d + \frac{1}{48} e \{ (a-b)^3 + 4b(a-b)^2 + 6b^2(a-b) + 4b^3 \} + \frac{1}{48} b^3 f \quad \dots (2)$$

但し、 $a, b, \dots, f$ は、断面形状の各寸法を表す。

式 (1) と式 (2) より固定断面と測定断面との間の平均ヤング率は式 (3) より求められる。

$$E = \frac{PL^3}{3\delta I} \quad \dots (3)$$

Fig.1 Schematic drawing of experimental apparatus

Fig.2 Measuring points of caudal fin. A,B,C are cross-sections for measuring bending displacement.

Fig.3 Cross-section of caudal fin model

3. 実験結果および考察

今回の実験で用いた3本の黒マグロの尾鰭の寸法を Table1 に示す。測定結果の一例として、No.1 の尾鰭について、固定断面 B、測定断面 C、荷重を 10N とし、荷重点を変化させたときの鰭条の変位を Fig.4 に示す。鰭条 5 に荷重を加えたとき、ねじりが起こらず曲げ変位のみとなっていることから鰭条 5 が弾性軸であると推測できる。固定断面 A 測定断面 B、固定断面 C 測定断面 D とした場合にも同様の結果が得られた。

Fig.2 に示すように尾鰭を I, II, III のように3つの領域に分けたとき、各領域の相当曲げ剛性を Fig.5 に、また平均ヤング率を Fig.6 に示す。相当曲げ剛性、平均ヤング率ともにその値は個体によって異なるが、相当曲げ剛性は翼端に近づくほど値が小さく、平均ヤング率は値が大きくなった。つまり、翼端に近づくほど曲がりやすいが、材質としては硬くなるということがわかった。これは、翼端に近づくほど細く薄くなるために相当曲げ剛性は小さくなるが、コラーゲンなどの物質が少なくなり鰭条の割合が大きくなるために平均ヤング率が大きくなったと推測できる。

Table1 Dimension of caudal fin of blue fin tuna

No. of Fin	Chord (mm)	Span (mm)
1	105	446
2	105	440
3	95	460

Fig.4 Displacement of fin ray in caudal fin

Fig.5 Flexural rigidity for regions I, II, III of caudal fin of tuna

Fig.6 Young's modulus for regions I, II, III of caudal fin of tuna

4. おわりに

マグロの尾鰭の荷重による曲げ変位を測定し、相当曲げ剛性、平均ヤング率を求めた。その結果、尾鰭は翼端に近づくほど曲がりやすいが材質としては硬くなるということがわかった。今後、これらの結果を用いて、模型翼を作製し、翼挙動と推進性能との関係を調べる予定である。

参考文献

- 1) 龍広南, 森川裕久, 小林俊一: マグロの尾鰭の力学的特性, 日本機械学会第 13 回バイオエンジニアリング講演会論文集, No.00-35, 242-243, 2001.