

計測自動制御学会東北支部 第 315 回研究集会(2018.5.21)

資料番号 315-8

ジンベイザメの体隆起線が流速と表面圧力分布に与える影響

The influence of the body ridges of the Rhincodon typus
on the velocity and surface pressure distribution

○辺雪^{a,b}, 清水朋佳^b, 三好扶^b

○Xue Bian^{a,b}, Tomoka Shimizu^b, Tasuku Miyoshi^b

^a大連理工大学, ^b岩手大学

^aDalian University of Technology, China, ^bIwate University, Japan

キーワード：数値流体力学 (computational Fluid Dynamics), 流体的特性 (Fluid dynamic characteristics), 体隆起線 (dermal ridges), 速度分布 (Distribution of velocity), 表面圧力分布 (Distribution of surface pressure)

連絡先：〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5

岩手大学 理工学部 システム創成工学科 三好扶

E-mail:tmiyoshi@iwate-u.ac.jp

1. 諸言

自然界の生物は、自然淘汰の歴史を通じて、与えられた環境に適応しており、環境が厳しい場合には最適な状態にまで適応していることが多い¹⁾。地球上には多種多様な魚類が存在し、ほとんどの魚に共通にみられる特徴がある。即ち、魚類の体は、その多くは流線形をした前半部分と厚さが薄くかつ最後端が深い高さを持つ尾鰭から成るといった形状をしている²⁾。

本稿では魚類の中でも世界最大級の体長を持つジンベイザメを対象にした。彼らは体隆起線と呼ばれる体の背側から体側にかけて皮質の強い隆起線を持っている。この隆起線に似たビルジキールは一般に小型船舶の船底に配置されており、船体の横揺れを軽減し、ロールの安定性を維持することが知られている。しかしジンベイザメの体隆起線は配置や数が船舶のビルジキールと異なること

から、小型船舶とは異なる役割があると想定される。また、ジンベイザメのような大型な回遊性魚類は自然界での観察が困難であるため、その生態にも不明な点も多く、体隆起線の性能は明らかではない^{3,4)}。そこで本研究では体隆起線の有無による流速と表面圧力への影響に注目し、彼らの体隆起線の流体的特性を明らかにする。本稿では体隆起線がある場合と体隆起線がない場合の二種類のモデルを作成した。これらのモデルを 3D-CFD を用いて解析を行うことで体隆起線の流体的特性を考察する。

2. ジンベイザメモデルの設計

モデルはテンジクザメ目ジンベイザメ科ジンベイザメ属のジンベイザメ³⁾を対象とし、Fig.1 に示す。

モデル作成には Sculpt+ を使用した。このソフトにより、基準となるジンベイザメのモデルを作成し、さらに体隆起線を追加したモデ

ルも作成した。Blender2.78a を使って調整し、ジンベイザメの全長は 12.1[m]、体盤幅は全長の 0.265 倍とする。Fig.2 に体隆起線なしモデル、Fig.3 に体隆起線ありモデルを示す。作成したモデルの体隆起線の本数や配置は撮影した本物の体隆起線の映像をもとにして

3. モデルの解析

本稿では生物のモデルを剛体と考え、Flow Designer を用いてモデルの正面から水を流すシミュレーションを行った。また、得られた結果から各モデルの流速と表面圧力の変化の評価を行った。流路は領域幅 8[m]、高さ 6[m]かつ奥行 20[m]の直方体を設置し、メッシュは x,y,z 軸方向をそれぞれ 160,500,120 に分割し、計 9600000 個の等間隔格子を作成した。このとき、STL データとして入力したモデルを直方体中央に配置した。流路には定常かつ一様流の流体を流速 0.5[m/s]で流入した。流入方向は x,z 平面から y 軸正方向である。高レイノルズ数型/k-ε モデルの乱流を用いて解析を行った。このとき流体の条件として密度 997.5[kg/m³]、粘度係数 0.00095[kg/(ms)]、比熱 4179、熱伝導率 0.604[W/(mK)]、体膨張率 0.00021[1/K]の水とした。



Fig.1 Rhincodon typus

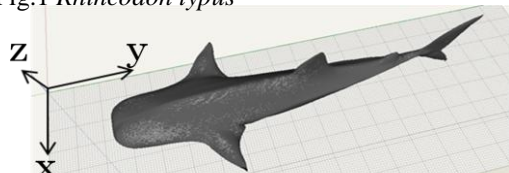


Fig.2 Rhincodon typus model without dermal ridges

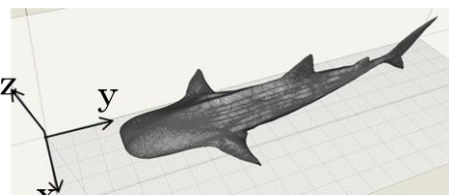


Fig.3 Rhincodon typus model with dermal ridges

式(1)を使って変形モデルの抗力係数を計算する。D は抗力、ρ は密度、U は物体と流体の相対速度、S は面積である。D と S は表面圧力分布によって計算する。

$$\text{Drag coefficient} = D / \frac{1}{2} \rho U^2 S \quad (1)$$

4. 解析結果

4.1.流速の変化による解析結果

Fig.4 は体隆起線なしモデルの y=6.60 胸鰭周りの断面を正面から見た場合の速度分布である。この結果から渦が胴体に沿って鰭に流れる。一方、Fig.5 は体隆起線ありモデルの y=6.60 の断面を前から見た場合の速度分布である。渦が胴体に沿って鰭に流れるとともに、体隆起線部分に顕著的に集中する現象が生じた。また、体隆起線に関わらず、渦が胸鰭と体の連結部分に集中するということが分かった。

4.2.表面圧力の変化による解析結果

Fig.6 は基礎モデルの上から見た場合の表面圧力分布である。2 つのモデルでは鰭の上方に負圧分布が広がっていることが分かる。体隆起線が場合は胸鰭の間の胴体部にも負圧分布が生じている。

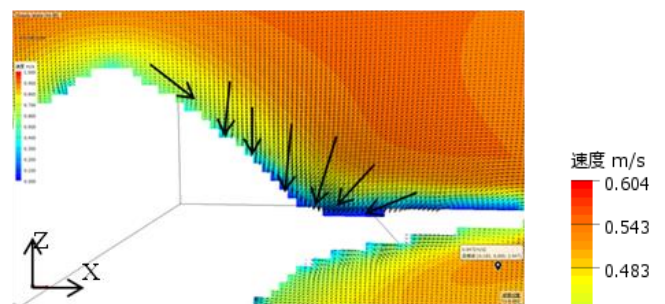


Fig.4 Flow rate of Rhincodon typus without dermal ridges

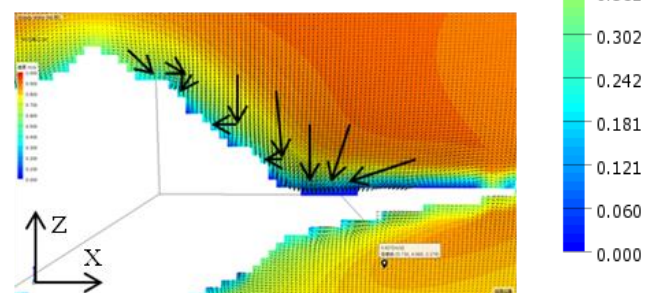


Fig.5 Flow rate of Rhincodon typus with dermal ridges

4.3 抗力係数の比較

抗力係数の結果は Fig.7 のように示す。この結果から、体隆起線あるモデルの抗力係数は体隆起線なしモデルに比べ小さいである。

5. 考察

速度分布の結果から、体隆起線がある場合は渦が胸鰭と体の連結部分に集中するほか、体隆起線のところに集中する現象が確認できる。渦が連結部に押し込むことで力を入れ、前進する際の横揺れ欠点を補う役割を行っていると考えられる⁵⁾。また、連結部だけではなく、背側に力を得ることから、体のバランスを維持する役割があり、体の安定性と深い関係があると考えられる。表面圧力分布の解析結果より、体隆起線あり場合は胸鰭の間胴体部分に負圧が発生する。抗力係数の結果から、体隆起線ありのモデルの抗力係数が小さくなることで、体隆起線が推進効率を上げる役割があると示唆される。

6. 結言

本稿ではジンベイザメの体隆起線の流体力学的効果を究明するために、体隆起線ありの場合と体隆起線なしの場合の2つ種類のモデルを作成し、3D-CFD を用いて解析を行った。

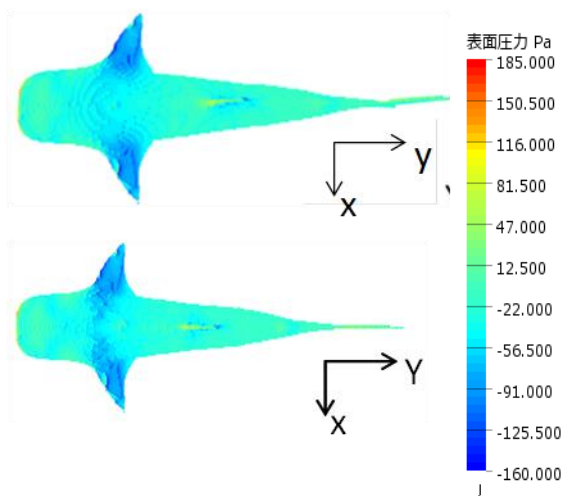


Fig.6 surface pressure of models

Above: without dermal ridges

Below: with dermal ridges

解析結果により、体隆起線は表面圧力と流速へ大きな影響を与える。体隆起線は体の安定性と推進効率を上げると深い関係があると示唆される。

本稿ではジンベイザメの体隆起線の有無に関するモデルを考察した。今後は実際のジンベイザメの遊泳挙動に合わせて、変曲点の位置を変えたモデルの解析と複数の変曲点があるモデルの解析を行っていく。

7. 参考文献

- (1) 河内 啓二, 生物の最適形状・最適行動, 1998, pp23
- (2) 影本浩, 魚は何故魚の形をしているのだろうか, 2010, pp395-396
- (3) T.nakabo, Y.Machida, K.Yamaoka, and K.nishida, Fishes of the Kuroshio Current, Japan, 大阪海遊館, 2001, pp20-32
- (4) 中坊徹次, 日本産魚類検索 全種の同定 第三版 I, 東海大学出版会, 2013, pp.154
- (5) 池田良穂 梅田直哉 慎燦益 内藤林, 船舶海洋工学シリーズ 船体運動 耐航性能 初級編, 2014, pp117

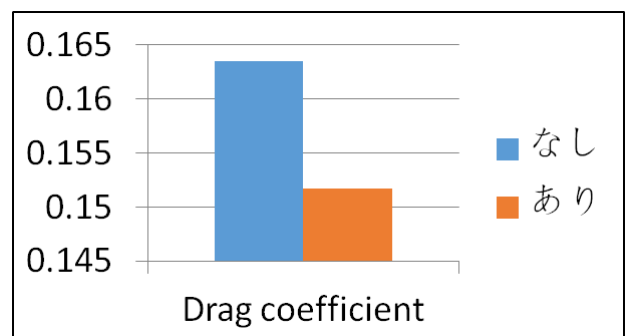


Fig.7 Drag coefficient