

CFRP製マンパワーボートの設計と流体測定

日大生産工(院) ○大西英雅
日大生産工 邊吾一

1. 緒言

本研究では、比強度、比剛性に優れた炭素繊維強化プラスチック（以下 CFRP）を用いた、軽量かつ高性能な水中翼船の開発・成形を目的とした。船体（ハル）、翼、フェアリング、操舵には CFRP、上部フレームはアルミパイプと CFRP パイプを用い設計・製作した。駆動軸を覆っているフェアリングは水中にあり、走行時に水から抗力を受ける。そのため、本研究ではフェアリングの流体抵抗を小さくすることを目的に汎用有限要素法プログラム ANSYSver. 12.0 を用いてフェアリングの断面形状の流体抵抗を解析した。ボートの設計・製作と FEM を用いた流体抵抗の解析結果について報告する。

2. ボート設計・製作

2. 1 目標設計

水中翼船とは、船の底から支柱を出し、そこに翼をとりつけた船である。高速で水面を走ると、翼に生じる揚力で船体が水上に持ち上げられ、水との接触が翼だけになり、抵抗が減少し高速運航が可能である。動力は人力（二人）とし、目標速度を 5m/s に設定した。ドライバー（二人）の体重を 130kg とし、各部の設計を行った。

2. 2 フレーム設計・製作

海上では波があり、風の抵抗も大きく、重心を高くすると風や波を受けた時に船体が大きく揺れるため、重心が低く、ドライバーが乗っても高さを低くすることができる 2 人乗りリカンベント式フレームを採用した。ドライバーの座席部分に CFRP パイプを使用し、その他の部分は、アルミパイプを使用した。CFRP パイプは、FW 成形機 (FWM-1900KS) を用い成形した。CFRP パイプは巻き角度や厚さによって曲げ弾性係数ないし曲げ剛性値が変化する。そこで、FW 法によって製作されるヘリカル巻き構造の曲げ弾性係数¹⁾を求める計算をし、CFRP パイプの巻き角度を算出した。フレームの製作は、アルミパイプを溶接して接合させ、CFRP パイプとアルミパイプの接合には構造用接着剤 (PLEXUS MA310) を使用した。

フレームの寸法は全長 3100mm×幅 410mm×高さ 590mm となった。シート、スプロケット、ペダル、ハルとの接合部にアルミパイプを取り付け完成とした (Fig. 1)。

2. 3 船体（ハル）

ハルは安定性に優れ、水の抵抗の少ない双胴船とし、断面形状は少ない出力で水面を滑走できるフラットボトム型とした。

上部構造の質量を 30kg、ドライバー（2 人）の体重を 130kg とし、浮力の計算を行った。ハルの製作は、ハルの断面形状に切った厚紙に合わせてスタイロフォームを削り雄型を製作し、GF クロスを積層し、脱型して雌型を製作した。この雌型に離型処理を行い、積層構成 (0/90)s とした CFRP クロスを 2PLY 積層し、ピールクロスと樹脂の通り道となるネットを被せ、バックフィルムで覆い真空ポンプで真空引きを行い大気圧で樹脂を CFRP クロスに含浸させた。硬化後脱型してハルを完成させた。寸法は全長 4500mm×幅 380mm×高さ 200mm となった。また、先端から 1550mm と 3280mm の荷重部の位置に厚さ 2mm のベニア板をハルの断面に合わせて切削して構造用接着剤でハル内部に接着させ隔壁を設けた。ハルのふたのパネル部分は、CFRP クロスとペーパーハニカムのサンドイッチ構造とした。ハルとふたのパネルを構造用接着剤で接着し、さらに接着面に防水テープを張り付けた (Fig. 2)。

2. 4 駆動系

設計は、目標速度を 5m/s、クランク回転数を一般男性が自転車をこぐ平均回転数である 90rpm、動力（2 人）を一般男性の平均仕事率 280W として行った。ギアボックスを固定する治具をアルミで製作し、レールの上に乗せフレームと一体にした (Fig. 3)。

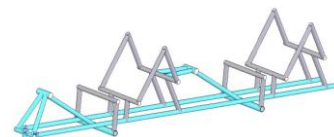


Fig.1 Model of Frame



Fig.2 Hull



Fig.3 Gear

2. 5 水中翼

主翼の翼型は揚抗比が大きい aquilasm とし、最大揚抗比 89.17 を得る迎え角 4° を離水時の角度とした。また、前翼の翼型は、揚抗比も大きく、水中翼専用の翼型 SpeerH105 とした。全体の質量 180 kg から必要揚力 1800N を求め、全体の重量重心を中央と仮定し、重心から主翼の距離、重心から前翼の距離より主翼揚力 1568N と、前翼揚

Design of man power-boat made of CFRP and drag analysis around fairing

Hidemasa Ohnishi and Goichi Ben

力 232N を求めた。そして、揚力の計算式とアスペクトレシオから、主翼の翼面積 0.30m^2 、翼弦長 300mm、翼幅 1400mm、前翼の翼面積 0.072m^2 、翼弦長 100mm、翼幅 400mm を求めた。製作は、主翼、前翼それぞれの翼型形状をスタイロフォームで製作し、前翼 2PLY、主翼 4PLY をフォームの上に直接 CFRP クロスを積層した。(Fig.4)。



Fig.4 Main wing

2. 6 組立

フレームに上部ギアボックスを取り付けた後、チェーンをペダルと上部ギアボックスに取り付け、フェアリングの中にギアボックスを取り付け上部ギアボックスと連結させた。前翼、滑走板を操舵に取り付け、操舵をフレーム前方に取り付けた。主翼をフェアリングに取り付けて、ハルをフレームに取り付け完成とした(Fig. 5)。



Fig.5 Boat

3. フェアリングの流体解析

3. 1 解析条件

フェアリングの流体抵抗の解析を行うために、汎用有限要素法プログラム ANSYSver. 12.0 を用いて FEM 解析を行った。要素は、Fluid 141 を用い、解析領域は流れ方向に 1000mm、流れと直角方向に 1000mm、メッシュサイズは 2mm とした。流体速度は流れ方向にボート走行時の速度である 5m/s とし、流れと直角方向には 0m/s とした。流体の物性値は水温 293K、密度 998.2kg/m^3 、粘性係数 $1.0 \times 10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$ 、熱伝導率 $0.6\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、比熱 $4.182(\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K})$ とした。

フェアリングの断面形状は一樣(Fig. 6)とし、フェアリング断面の最大翼厚を駆動軸を覆うことを考慮して 26mm に設定して、円、翼型 (naca, naca63-010, naca65-010) の 4 種類の形状について 2 次元流体解析を行った。翼型の 3 種類については、最大翼厚を 26mm とし、最大翼厚の翼弦長に対する比率 (以下最大翼厚比) を 6%, 9%, 10% に変化させて解析した。翼弦長は最大翼厚比 6% で 430mm、最大翼厚比 9% で 286mm、最大翼厚比 10% で 260mm とした。

3. 2 解析結果

解析結果を Fig.7, Fig.8 に示す。Fig.7 の縦軸は抗力、横軸は断面形状である。Fig.8 は縦軸が抗力、横軸が最大翼厚比である。Fig.7 から、断面形状による抗力は、円より翼型の方が抗力は小さくなることを確認できた。

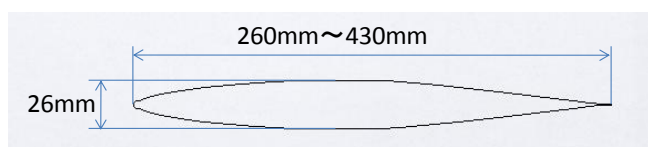


Fig.6 naca65 series

また、Fig.8 から、いずれの翼型も最大翼厚比が大きくなると抗力は大きくなった。断面形状による抗力は翼弦長より、最大翼厚比に関係していることが確認できた。

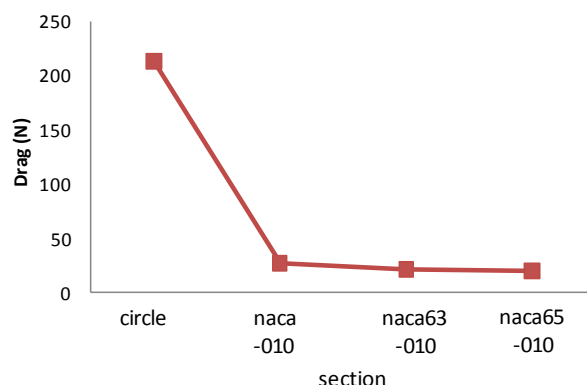


Fig.7 Comparison of drag with section

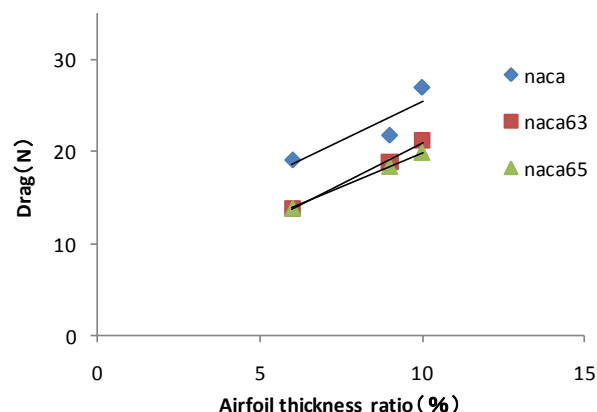


Fig.8 Comparison of drag with airfoil thickness ratio and wing section

4. 結言

- 1) CFRP 材やアルミパイプを用いて実構造物である人力ボートを、設計・製作することができた。
- 2) 迎角 0° の時、フェアリングの断面形状は円形より翼型の方が、またフェアリングの翼厚比は小さい程、抗力係数も小さくなることを確認した。

5. 参考文献

- 1) 植村益次, 山脇弘一, 阿部慎蔵, 井山向史: フィラメント・ワイディング材の剛性について, 東京大学宇宙航空研究所報告 4-3B (1968)
- 2) Ira H. Abbott and Albert E. Von Doenhoff: Theory of wing section 311 (1958)