

CFRP 製マンパワーボードの開発・製作

日大生産工(院)
日大生産工

○大西 英雅
邊 吾一

1. 緒言

本研究では、人力で走行する、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)、上部フレームはアルミパイプと CFRP パイプを使用し設計・製作した。その結果について報告する。製作後は愛知県碧南市勤労者青少年スポーツセンターで行われるソーラー&人力ボートレース全日本選手権 2009 に出場した。

2. 設計・製作

2. 1 各部設計

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。欠点は、船体の大型化に限界があることや、低速では船体が浮上せず、水中翼がかえって抵抗を生むことである。設計には SolidWorks 2006 SP4.1 と汎用有限要素法プログラム ANSYS ver11.0 を用いた。

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。設計は、まず Solid works 2006 SP4.1 を用いてモデリングを行ない(Fig.1)、汎用有限要素法ソフト ANSYS ver 11.0 を用いて解析を行なった。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製作した。CFRP パイプは、フィラメント・ワインディング(以下 FW)材を使用し、FW 成形機 FWM-1900KS を使用し製作した。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。

ヘリカル巻き FW 材の曲げ弾性係数は、巻き角度 15° を過ぎてから急激に降下する(Fig.2)。しかし、当研究室の FW 成形機では巻き角度 22° 以下での成形は巻き角度の精度が低下する可能性があるため²⁾、巻き角度は 22° とした。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。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。ANSYS ver11.0 を用いた解析では、座席位置になる面に、人間が乗った時の荷重 700N と、前後のペダル位置に、ペダルをこいだ時の荷重 300N をかけた結果、鉛直方向に最大変位 7.034mm となった。設計したフレームに、走行中大きな変形はないことがわかった。

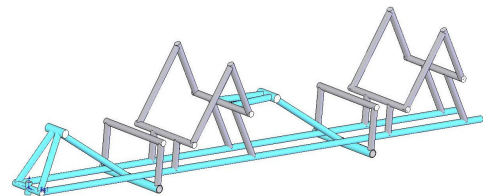


Fig.1 Model of Frame

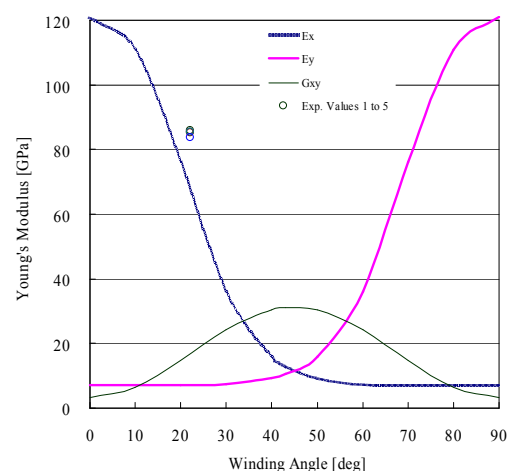


Fig.2 Relation of Elastic Modulus to Winding Angle

Development and manufacture of racing boat made of CFRP

Hidemasa ONISHI, Goichi BEN

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。上部構造の重量を 50kg, ドライバー(2 人)の重量を 130kg とし、浮力の計算を行った。次に製作方法について説明する。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、完成した雄型に離型処理をし、GF クロスを積層し、脱型して雌型を製作する。雌型の表面を耐水ペーパーとコンパウンドを用いて鏡面レベルまで磨きあげた。次に、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 (Fig.3)。硬化後脱型してハルを完成させた。荷重部に厚さ 2mm のベニアを構造用接着剤で接着させ隔壁を設けた。また、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。完成したハルとパネルを構造用接着剤で接着し接着面に防水テープを張り付け完成とした (Fig.4)。

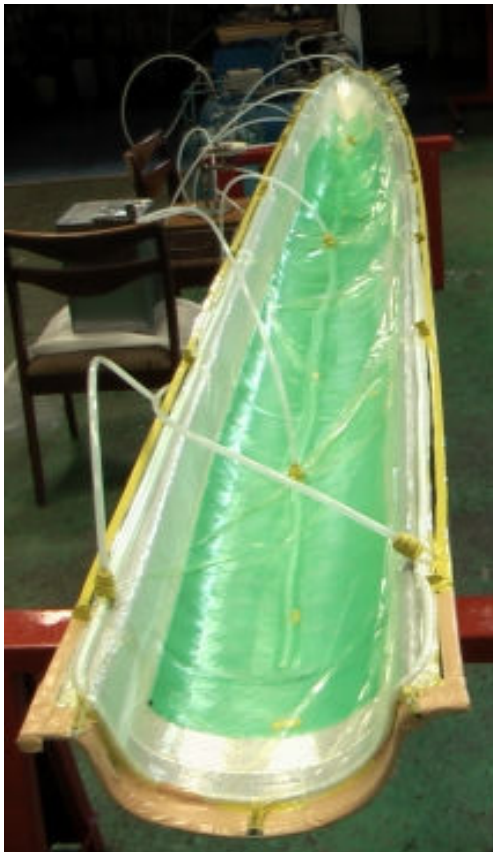


Fig. 3 Molding process



Fig. 4 Hull

2. 4 駆動

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。パイロットがペダルを漕いだ動力をチェーンを使い上部ギアボックスに伝達し、上部ギアボックス (Fig.5) から下部ギアボックス (Fig.6) にはシャフトを使い動力を伝達させた。チェーンラインが複雑なためテンショナーを CFRP で製作しフレームに取り付けた。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化にした。



Fig. 5 Gear of top

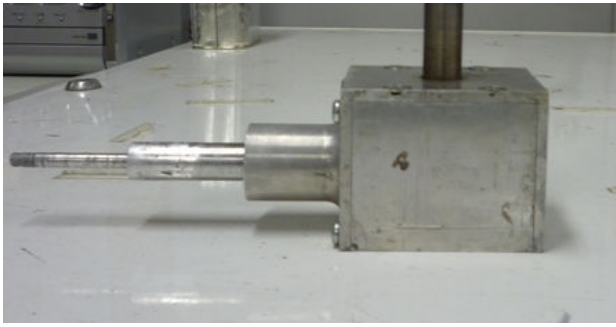


Fig. 6 Gear of bottom

2. 5 フェアリング

下部のギアボックスは常に水中に浸かっている。そのため、水の浸入を防ぎ、水中での抵抗を減らすため、下部ギアボックスと上部ギアボックスからの駆動を伝えるシャフトは、翼型のフェアリングで覆った。フェアリングの翼型には NACA0012 を用いた。製作は、翼型形状に切り出したスタイロフォームに CFRP クロスを 2PLY 積層させ、硬化させた。水の抵抗を低減させるため表面を研磨した (Fig.7)。



Fig. 7 Fairing

2. 6 操舵

操舵はボートの前方に取り付け、翼走時の前翼の迎角を可変にするため、滑走板(センサー)を取り付けた。操舵の駆動方式はワイヤー式とした。製作は、サンドペーパーを使用し、操舵の形状にスタイロフォームを削り、CFRP クロスを 2PLY 積層させバックフィルムで覆い、真空引きを行い硬

化させた。前翼の取り付け位置に $\Phi 4\text{mm}$ の穴を開けた。滑走板はスタイロフォームをサンドペーパーなどで削り、表面を樹脂でコーティングした (Fig.8)。



Fig. 8 Steering gear

2. 7 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。全体の重量 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、前翼揚力 232N を求める。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。翼走時は、抵抗が小さくなり、速度が上昇し、揚力も大きくなる。高さや角度調整で揚力を制御する必要が生じる。前翼の調整機構は、滑走板で前翼の迎え角を変化させることにより、揚力を制御した。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、CFRP クロスを、前翼 2PLY、主翼 4PLY 積層し、硬化させた (Fig.9) (Fig.10)。



Fig. 9 Main wing



Fig. 10 Front Wing

3. 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.11)。



Fig. 11 Boat

4. ボート大会

9月19日から9月21日に愛知県碧南市勤労青少年スポーツセンターで開催されたソーラー&人力ボート全日本選手権 09 に出場した(Fig.12)。ショートレース、1周スラロームレース、30分耐久周回レースに出場エントリーした。9月19日に船体検査が行われ、9月20日にショートレース予選100m、ショートレース決勝200mが行われ、9月21日に1周スラロームレース、30分耐久レースが行われた。大会1日目、天候は晴れ、風は微風。ショートレース予選100mは完走したが、翼走可能速度まで船体速度が達しておらず、翼走しなかった。ショートレース予選

100m終了後、上部ギアボックス内部のギアを取り付けている軸受がギアボックスからずれて、ギアとギアの間に隙間が生じて、下部ギアボックスに動力が伝達されなくなった(Fig.13)。また、ハルとパネルの接合部より、水の浸水が発生し、以後のレースを棄権した。



Fig. 12 Boat race



Fig. 13 Clearance of gear

5. 結言

- 1) 実構造物であるボートを、設計・製作することができた。
- 2) 特殊な装置を使わないCFRPの成型をすることができた。

6. 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) 角倉浩平, 邊吾一: CFRP パイプの突合せ手法の開発とその力学特性, 強化プラスチック協会 第51回 CON-EX2006(2006. 9)