技術賞紹介

1992 年度 日本複合材料学会技術賞 受賞技術の概要

標記年度の日本複合材料学会技術賞は、学会賞委員会（森田幹郎委員長）で選考が行われ、受賞 3 件が決定し、1993 年 5 月 10 日の日本複合材料学会総会の受賞式において、盾と賞状が贈られた。また、同年 10 月 6 日～7 日の第 18 回日本複合材料学会複合材料シンポジウム（横浜）で受賞講演が行われた。本号では、受賞技術 3 件の内容の概略を、受賞者に紹介して載くこととした。

アメリカズカップ日本艇用巨大マストの 一体成形技術について

前田 豊, 児玉 斉, 木場 久雄, 五味 武夫, 中川 高彰

1. 緒 言

世界のヨットレースの中で最も大規模で伝統のあるアメリカズカップレースが、1992 年度アメリカ・サンディエゴで行われ、日本は初めてこれに参加した。艇長 24 m、長さ 34 m という巨大マストをつけたヨットがマッチレースを行ったのであるが、日本艇は初参加ながら善戦した。本報告では、種々の困難を克服して、日本で初めて製作技術が形成された長大 CFRP 一次構造体マストの成形技術について報告する。

2. アメリカズカップの歴史

1851 年ロンドンで開かれた世界初の万国博覧会の“海の祭りの日”銀製のカップをかけて南部ワイト島で王室ヨット協会主催の、島一周レースが開催され、招待された快速帆船“アメリカ号”が大差をつけて勝った。爾来“アメリカズカップ”と呼ばれる。

アメリカズカップヨットレースは、海の F-1 とも、ハイテク戦争ともいわれ、先端複合材料製のヨットが出現し、IACC クラスというレーティング範囲内でいかに速く、性能の良いヨットを造るかの競争が始まった。

3. CFRP マストの開発

1992 年大会から新しい IACC クラスという規定のヨットが採用され、ヨットの全長 24 m、マストの高さは水面上 35 m、排水量 24 t で、船体、マストは CFRP の採用が可能となった。今回の AC マストは、従来のアルミ製では明らかに性能面で不利であり、各国とも製造実績のなかった CFRP 製マストで挑戦することとなった。以下マスト開発のステップを追って説明する。

1) マストに掛かる力

マストは軽く、また空気抵抗を少なくするために細く作りたい。マストの根元には圧縮力が掛かり、その大きさは 70～80 トンにもなる。しかし材料の圧縮強度は問題なく、マストの設計はオイラー長柱座屈で決まる。

2) 構造と材料の決定

マストはトラス構造で、軽量化を図りながらオイラー座屈の耐力要因である曲げ剛性を高くするため、薄肉パイプ構造で、弾性率の高い CF 一方向材をマストの長手方向に主として配した構造とする。

ただし小型ヨットマストの場合と異なり、長さ 34 m、長径 0.3 m 以上、流体力学的に抵抗の少ない断面形状を有するマストの製作となると、基本となる成形方法を検討する必要がある。そのため、長手方向一体構造、継ぎ手構造を含む製作方法の選定を行った。

継ぎ手構造では長柱挫屈を設計ポイントとする場合、

Yutaka MAEDA, Hitoshi KODAMA, Hisao KOBAYASHI, Takeo GOMI and Takaaki NAKAGAWA : 三菱レイヨン(株)豊橋開発研究所複合材料開発グループ (440 愛知県豊橋市牛川通り 4-1-2)

表 1 マストの構造と製作方法

構 造		ワンピース構造		ツーピース構造	
製 作 法		凹型真空バッグ成形	凹型ブラダー成形	凹型真空バッグ成形	凹型ラバー成形
選択要因					
①	製品性能 (軽量, 品質)	△	○	△	○
②	硬化の容易さ (加圧, 加熱)	○	△	○	△
③	治具コスト	×	△	◎	△
④	レイアップ作業性	×	×	○	○
⑤	補強層の形成性	△	○	○	○
⑥	構構変更の容易さ	○	△	○	○
⑦	外 観	×	○	○	○
総合判定				◎	

(1) セン断応力での荷重伝達は不可能, (2) 突き当て構造では工作精度が保証できず, 荷重条件がクリアできない. (3) セール性能を発揮させるためにはフレックスパターンが重要, などの理由から, 長手方向一体構造を採用することとした.

3) 材料の決定

一方 CFRP マストの製作にはレースルールの制約があり, 成形温度 135°C 以下, 成形圧力 3 kg/cm² 以下, CF 材料を使用する場合, その弾性率は 30 ton/mm² 以下という条件がある. そのため CF は三菱レイヨン製, 弾性率 30 ton/mm² の MR50 を採用した.

4) 製造方法の決定

成形方法については, ウェットレイアップ法ではレジソリッチで物性的に高性能は望めない. プリプレグを用いた加圧バッグ成形, ラバー膨張圧成形についても検討されたが, 最終的には, 三菱レイヨンで開発された中弾性 CF/汎用タイプマトリックス #340 樹脂系プリプレグを用いた高精度真空バッグ加圧成形法を採用することとした (表 1).

4. マスト設計と製造工程の組立

1) CAE による CFRP マストの構造設計

マストの基本的製造方式の選定と並行して, マストにかかる力の解析を進め, CAE による複合材料の最適設計を行った. マストの断面形状は, 座屈解析の結果と加工性を配慮し, 百数十種類計算した断面特性, ならびに風洞実験による空力学的最適断面形状を NCAC で提案し, 最軽量となる基本的な断面構成を決めた.

マストの全体設計はリギン, ステイで補強する方式をとり, (1) 長柱オイラー座屈に耐える最軽量の薄肉パイプ構造で, 壁面座屈を配慮した. また (2) 部品取付部で面圧強度設計を行った. すなわちマストステップ, 穴回りなど部品が取り付く部分の最適補強設計を行った.

2) 高精度製造設備の準備

高性能マストに仕上げるためには, マストの真直度 1 mm/1000 mm, 捩じれ角 3°/34 m 以下を達成する必要がある. 精度の良い成形型と約 35 m の長大加熱オーブンが必要となる. 特に成形型は加熱冷却によって変形を起こさず, 製品と同程度の線膨張係数となる CFRP 型を採用したことが効を奏した (表 2).

3) 成形技術形成

オープンにセットされた CFRP 型に製品用 CF プリプレグを積層し, 真空バッグ作業を行い, 加圧加熱することによって, シェルが形成される. 製品マストは左右のシェルの成形した後, 内装部品を接合し, フロントテ

表 2 高真直度一体成形技術
(歪み 1 mm/1000 mm >, 捩じれ 3°/34 m >)

項 目	技術ポイント
1. オープン設備の熱変形防止	特殊オープン鉄板スライド式
2. 成形型の変形防止	型とオープン床のスライド方式
3. 成形成品と成形型の線膨張率の近接化	CFRP コンポジット型の採用
4. 連結型の真直度	室温時と加熱時の真直度

ープを追加積層して、定盤上で接合組立一体化される。

マスト成形技術形成については、モデル構成品によって、先行試作を行い、寸法精度、変形程度、強度剛性が設計どおりとなることを、確認することで達成された。

4) 組立機械加工

マストを船艇に強力にセットするため、スプレッダーを取付けリギンで固定する。底部には耐蝕性金属ステップ、頂部にはステイ取付マストトップ、中間にもブーム、スピンポール、ステイ取付のための金具を接合するため、補強、穴開け、機械加工が行われる。これらはコンピューターによる FEM 構造解析により、最適設計を行って最終製品とすべき材料構成を決めて実施された。

5) 塗装、検査、梱包、運搬

完成したマストに対して、耐水性塗装を施し、前横剛性、振じれ剛性を検査し、梱包後出荷される。塗料はウレタン系常温硬化塗料を採用。剛性は特製設備で、測定された。運搬は自動車運搬が道路交通法で規制されるため、人力による自在コロでの運搬を採用した。

5. マスト製作の結果

1) 第一号マスト製作結果

最適軽量化設計からなる第一号マストを開発ステップで述べた製作方法に従って長手方向一体成形、一体組立機械加工、仕上の工程を経て製作したところ、反り、曲がり振じれがほとんどなく、アルミ製から推定されるマストの 60% 軽量化が図れ、曲げ剛性振じれ剛性が設計どおりの物であることが判明した。

第一号マストは、それまで使用されていた外国製マストに比べ、重量で約 200 kg 軽量、かつ剛性が高く、日本艇に取り付けたところ、所定荷重に耐え、微風でも快調な走行性能を示した。ワールドカップで強風下折損したが、マスト担当クルーを始め、多数の方より外国製マストに比べ性能面、外観面ともに比べ物にならないくらいよい性能が発揮されたと評価された。

2) 本レース用マストの製作結果

第一号マストの破損状況、振じれ角等に対する反省から、ブーム取付部近辺の補強を行うことで、基本的強度は十分満足できると判断され、本格製造に踏み切った。このようにして、3本のマストを本格レース用として製作し、予選レースで極めて高成績を収め、レースに対する注目度を高めた。そして初参加ながら意義ある戦果を残し、今後のチャレンジに対する大きな希望を与えた。

6. 結 語

アメリカズカップという世界最大のレースに使用されるマストの開発に参画し、先行検討と試作実績によって、ようやく実用性のある巨大マストの製作技術を完成することができた。大型一次構造体の成形の技術進歩に一石を投ずることができたかと思う。今後このような技術を適用できる機会が広がることを願ってやまない。

参 考 資 料

- 1) International America's Cup Class Rule, Version 1.1, 9th May 1989.