

ハイブリッドFRPの高速漁船への応用

見尾田 征 幸, 山 岸 暢*, 折 戸 義 晴**, 吹 上 紀 夫***

Application of Hybrid FRP for High Speed Fishing Boat.

Motoyuki Miota Tohru Yamagishi
Yoshiharu Orito and Norio Fukiage

要 旨

種々の強化繊維を組合せ積層するハイブリッドFRPは、その積層構成によって優れた強度特性を發揮するといわれている。そこで、このハイブリッドFRPを実際に高速漁船へ適用することを目的として各静的試験を実施した。その結果、従来のガラス繊維のみによるFRPに比べ、繊維の配置等を適切に考慮すると、ハイブリッドFRPでは大幅な強度の向上が得られることがわかった。又、このハイブリッドFRPでは繊維が一方に引き揃えられた高強度な素材を用いるため、従来、船舶の構造には多数見られた横骨を大幅に減らすことが可能であると思われ、船体の重量低減に大きく寄与するものと考えられる。

1. 緒 言

函館地域では、平成元年度より「CFRP技術研究会」を中心として、産・学・官一体となり広くCFRPの応用と産業化について検討を行ってきた。この様な中で、函館地域CFRP産業化推進委員会が設置され、平成3年度、前記委員会より函館の地域性、あるいは企業の集積等を考慮し、CFRPを応用した「次世代船舶」の開発が、地場関係企業へ提唱された。これを受け平成3年12月、地域企業6社から成る「スーパーマリン開発協同組合」が発足し、平成4年度から3年間の事業で開発を行なうこととなった。

開発の目的として、近年、若者（後継者）の漁業離れの傾向が顕著化している漁村社会の活性化を図ることを最大の目標とし、次世代の小型漁船を開発することとなった。船型は、若者の志向に合ったスマートでデザイン的に優れた漁船とし、

高速性、安全性に優れ、作業面積が広く取れるトリマラン型を基本とした。

この船舶の開発のポイントの1つに高速性が挙げられる。船舶の高速化を図るためには推進機の選定も重要であるが船体の軽量化が必須条件である。

そこで当センターとスーパーマリン開発協同組合とが最適な船体材料の選定を目的として共同研究を実施した。

船舶の高速化を図るためには軽量化はもちろんであるが、高速に耐えうる高強度や高弾性が必要とされる。従来のガラス繊維だけによるFRP材に比べ、種々の強化繊維を組合せ積層するハイブリッドFRPは、その積層構成によって優れた強度特性を發揮し、船体の重量低減にも寄与するものと考えられる。しかし、炭素繊維やアラミド繊維等の新素材の強化繊維を使用したハイブリッド型に

* 北海道立工業試験場

** 函館製網船具株式会社

*** 運輸省船舶技術研究所大阪支所

してもその割合や配置によっては、必ずしも強度が向上するとは限らないと報告されている¹⁾。

そこで、本研究では船体部材用の適切なハイブリッドFRPを選定することを目的とした。

2. 開発船の構造

本開発船（以下、本船と称す）の構造概念図を図1に示す。

本船と一般的な漁船との最大の違いは、船体の補強材の数にある。通常3tonクラスの漁船では船体の横方向に細かな横骨が補強材として多数使用されているが、本船においてはその横骨はほとんど無く、船体の横方向には隔壁（図中ではBHDと表示）が4枚入っているだけである。このことは船体の軽量化に大幅に寄与するものである。船体の横骨を抜いたことによる強度低下を補うために、強化繊維を効果的に配置し、船体の横方向の強度を保証できる構造を検討した。又、縦方向の構造についても骨の数を通常より減らし、一方向材の配置と骨の高さの調整の両面で保証することを目標とした。

3. 素材及び積層構成の検討

3.1 素材

3.1.1 強化繊維

一般的な漁船は、ガラスマット (M) と、ロービングクロス (R) によって構成されている。本船では、強度部材であるロービングクロス (織物材) に代わり、更に顕著に繊維の強度特性が反映される一方向材をハイブリッドFRPに使用した。

図2に織物材と一方向材の比較を示す。

図2より、織物材は織り目に形成される空間が大きく、そこに樹脂溜りが発生し、より多くの樹脂を必要とする。これに対し、一方向材を用いると樹脂溜りが少なく、密着性に優れ、繊維含有率を高くすることが可能である。又、織物材の場合、縦糸と横糸との間に約11°の角度を持っており、外部から応力が加わった際に、その力は強度の小さい樹脂溜りにより多く働くといわれている。それに対し、一方向材の場合は、繊維本来の持つ強度がより発揮される構造となっている。表1に本実験に用いた強化繊維を示す。

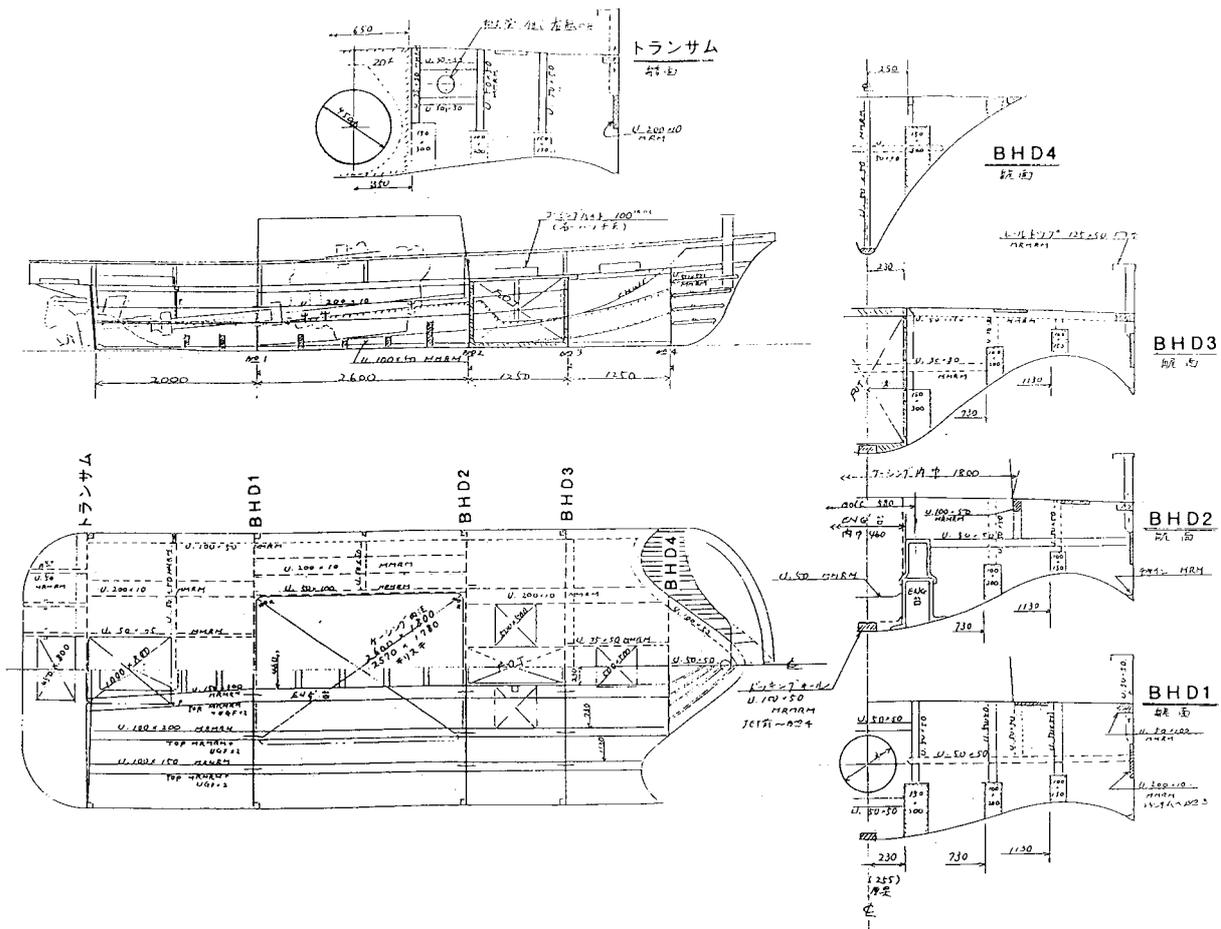


図1 開発船の構造概念図

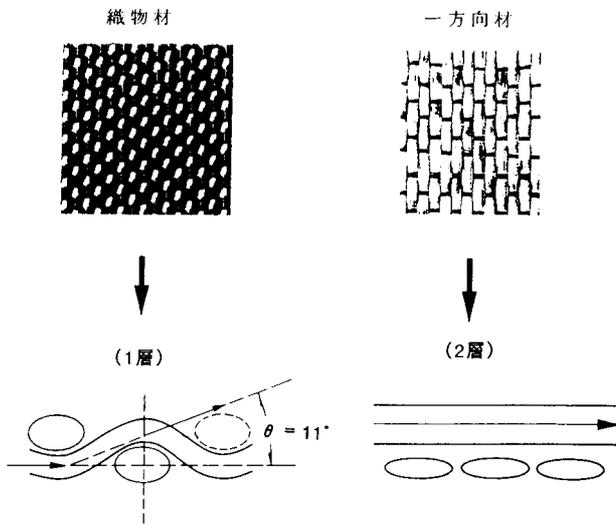


図2 織物材と一方向材の比較

表1 強化繊維の諸元

繊維の種類	織り方	記号	目付(q/m ²)	メーカー
カーボン繊維	一方向材	UCF	270	東レ
	一方向材	UGF	450	ユニチカ
ガラス繊維	ロービングクロス	R580	580	日東紡
	チョップドストランドマット	M300	300	日東紡
	チョップドストランドマット	M450	450	日東紡
	サーフェースマット	SM	30	日硝織

3.1.2 マトリクス樹脂

表2に本実験に用いたマトリクス樹脂を示す。マトリクス樹脂は、一般的に船体で使用されているイソ系ポリエステル樹脂、及び炭素繊維やアラミド繊維などへの含浸性が良く、ポリエステル樹脂に比べ伸びが大きいといわれている

ポリエステル樹脂の2種類を使用し、検討を行った。表3に両樹脂の引張特性を示す。

表2 マトリクス樹脂の諸元

樹脂名	品番	メーカー	記号
ポリエステル樹脂	M760BT	昭和高分子	VE
不飽和ポリエステル樹脂	259BQT	昭和高分子	UP

表3 UP及びVEの引張特性

記号	引張強度 (kgf/mm ²)	引張弾性率 (kgf/mm ²)
UP	3.42	355
VE	5.50	426

3.2 積層構成

積層構成については船体の構造と繊維の配置、板厚、作業性を考慮して、以下の4案とした。積層構成の概略図を図3に示す。

- ① M300+UGF+UCF+M300+UGF+UGF+M300+UCF+UGF+M300
- ② M300+UGF+UCF+SM+UGF+UGF+UGF+SM+UCF+UGF+M300
- ③ M300+UGF+M300+UCF+M450+UCF+M300+UGF+M300

積層構成	①	②	③	④
NO.	①	②	③	④
予測板厚 (mm)	5.7	5.0	5.67	5.64

- CF一方向材
- GF一方向材
- GFロービングクロス
- GFマット
- GFサーフェースマット

図3 積層構成概略図

④M450+M450+R580+M450+R580+M450

但し、UGF、UCFは0°方向（船体の横方向）、UGF、UCFは90°方向（船体の長さ方向）である。又、④はごく一般的なFRP漁船（3ton未満）の積層構成であり、比較用として試験を行なったものである。

4. 試験要領

4.1 試験片の作製

試験片は積層板より0°、90°の2方向採取することとし、ダイヤモンドカッターにて切り出した。又、引張試験片に関しては、その後ダンベルカッターによりダンベル形状とした。最終的に全ての試験片をサンドペーパーにて仕上げを行い、60℃、12時間アフターキュアを行い、23℃、50%の恒温恒湿室に48時間放置後、同室にて試験に供した。

4.2 繊維含有率の測定

繊維含有率はGFRPについては、JIS K7052-87、又、ハイブリッド型FRPに関しては次式によって求めた。

$$W_f = \frac{V_f \cdot \rho_f}{\rho_f - V_f (\rho_f - \rho_m)}$$

- ここで、 W_f : 繊維重量含有率
 V_f : 繊維体積含有率
 ρ_f : 繊維の比重 (gf/m³)
 ρ_m : マトリクスの比重 (gf/m³)

4.3 静的試験

試験は以下の4種類について実施した。試験方法は、圧縮試験以外はほぼJISに準じて行った。使用した試験機は、定速型精密万能試験機（島津製作所社製：容量10ton、オートグラフDSC-10形）である。又、試験に用いた一方向材は異方性材料であるため、各試験については0°、90°の2方向の試験片について実施した。

(1) 引張試験

試験材寸法：板厚…成形厚さ、幅…16mm
 長さ…250mm、ダンベル形
 歪 : 直交2軸型歪みゲージ
 (ℓ = 5.2mm)

負荷速度：3mm/min

(2) 曲げ試験（3点曲げ）

試験材寸法：板厚…成形厚さ、幅…20mm
 長さ…120mm

支点間距離：100mm

負荷速度：3mm/min

(3) 圧縮試験（船研式両端固定法）

試験材寸法：板厚…成形厚さ、幅…20mm
 長さ…70mm

支点間距離：直交2軸型歪みゲージ
 (ℓ = 5.2mm)

負荷速度：1mm/min

(4) 剪断試験（ILSS）

試験材寸法：板厚…成形厚さ、幅…6mm
 長さ…板厚×6

支点間距離：20mm

負荷速度：1mm/min

表4 積層板の試験結果

No	Vf	方向	引張試験		圧縮試験		曲げ試験		層間剪断試験
			σ _t	E _t	σ _c	E _c	σ _B	E _B	
U1	22.5	0	25.64	1970	27.70	2280	49.73	1640	2.52
		90	10.61	930	24.40	1080	13.34	755	-
V1	25.8	0	28.44	2020	24.19	2390	51.05	1685	2.84
		90	13.58	990	22.86	1210	14.52	838	-
U2	21.8	0	22.89	2000	27.72	2040	44.03	1727	1.95
		90	14.62	1240	24.54	1380	15.22	850	-
V2	25.2	0	27.60	2120	25.54	2140	51.93	1803	2.63
		90	14.56	970	22.18	1480	17.08	853	-
U3	20.5	0	16.46	1060	26.87	1240	30.97	1240	2.31
		90	20.52	1590	22.60	2010	19.27	954	2.06
V3	21.7	0	16.44	1010	24.07	1300	32.77	1318	2.48
		90	22.17	1660	22.66	1930	23.78	987	2.25
U4	22.2	-	13.99	1280	22.17	1340	20.75	957	-
		-	14.54	990	21.21	1170	20.37	874	-

Vf: 繊維含有率 % σ: 強度 kg/mm² E: 弾性係数 kgf/mm² τ: 剪断強度 kgf/mm²

5. 試験結果及び考察

表4に繊維体積含有率 (V_f) と各静的試験の結果を示す。表中の記号で例えばU1と表示している場合、前述3.2の積層構成①の樹脂がイソ系不飽和ポリエステル (UP) の場合である。以下同様にV1では積層構成①のビニルエステル樹脂 (VE) の場合を示している。

表4より、繊維含有率については、どの積層板においても、UPに比べ、VEの方が高いことがわかる。これは、VEがUPに比べ、炭素繊維などにおいて含浸性が優れているためと思われる。又、3.1の項で、織物材より一方向材を使用した方が繊維含有率を高くすることが可能であると述べた。ここでU3 (一方向材使用) とU4 (織物材使用)、あるいはV3とV4を比較すると、逆に一方向材を使用した方が劣っていることがわかる。これは積層板全体で見た場合、③と④では③の方が樹脂必要量の多いマットの層数が多いため、この様な結果になったものと思われる。

又、①、②の90°と④における層間剪断試験のデータが無いのは、今回の試験法では層間剪断破壊以前に全て引張側から破壊が起ってしまったためである。試験法については、今後、課題の残るところである。

表3の結果を踏まえ、実際に船体に使用する積層構成について検討してみると、まずFRP船の建造にあたっては、運輸省船舶局より発行されている「強化プラスチック船 (FRP船) 特殊基準」に準拠して考えなければならない。この基準書中で述べられている実船前材料試験において必要とされる強度ならびに弾性率は以下の通りである。

- (1) 引張強度：10kgf/m²
- (2) 引張弾性率：700kgf/m²
- (3) 曲げ強度：15kgf/m²
- (4) 曲げ弾性率：700kgf/m²

この数値を基準にして①～③までの積層について考えると、引張、曲げ弾性率に関しては全て基準値を満足しているが、①の積層の90°方向での曲げ強度は基準値を下回っている。これは先にも述べたが、一方向材自身が強度に異方性を持っているためである。②、③の積層に関しては、全て基準値を満たしている。

ここで、②、③に関して船体の構造を踏まえて検討してみると、船体の縦方向は前述の通り、高さの高い補強材で強度保証が可能であるが、横方向に関しては隔壁のみの構造であるため、船体自身で強度を保証しなければならない。そのため高強度の積層構成が必要とされる。

従って、これらを総合して考えると、基準値を満足でき、横方向 (0°) の引張・曲げ強度の高い②の積層構造が最も適しているものと思われる。

6. 結 言

ハイブリッドFRPを高速漁船へ応用することを前提として、各素材ならびにその積層構成と強度について試験、検討を行い、以下の様な知見を得た。

- (1) 炭素繊維やガラス繊維などの一方向材をハイブリッドFRPに使用した場合、従来、漁船等に用いられてきた織物材を強度部材とするFRPに比べ、繊維の配置を考慮することにより、大幅な強度の向上が得られることがわかった。
- (2) 樹脂については、今回使用したUPとVEに関しては、ガラス繊維のみの積層であった場合、あまり違いは認められないが、ハイブリッド型とした場合、繊維含有率や引張・曲げ強度において、VEの方が優れた特性を示すことがわかった。

今後は、船舶の完成後、フィールドテストにより船体各部のひずみや応力の測定を行い、実船へ向けたデータの収集を行う予定である。

謝 辞

本研究の実施にあたり、積層板の製作等の協力をしていただいた、カネタ桜庭造船 (株) の桜庭喜美夫社長、桜庭浩一専務をはじめ社員の皆様、又、船図の提供をしていただいた本船の設計者よしだ設計、吉田好博氏に深く感謝の意を表す。

7. 参考文献

- 1) 吹上紀夫、津島 聰、小野正夫：第38回FRP CON-EX'93講演要旨集、1993、P229～232