

FRP 船 建 造 法 に つ い て

馬 飼 野 淳*・久 能 孝 一*



台湾で建造されたブルーシー・アンド・グリーンランド財団所有の
FRP 製 42 フィート プレジャー ヨット

はじめに

FRP という略語は、Fiberglass Reinforced Plastics の頭文字を並べたもので、和訳では強化プラスチックとなっている。

今日 FRP 製品としての用途には、浴槽・浄化槽・便槽・各種タンク・工業部品及び船舶等がある。

船舶の用途別ではボート及び漁船に多く使われており、日本においては昭和 30 年代後半より船体材料として本格的に採用され始めた。

FRP が船舶にどれだけ使用されているかを紹介すると、日本においては建設で 50%、船舶で 20%、農工業自動車で 20%、その他で 10% である。また、ノールウェー、スウェーデン、フィンランド、デンマークでは FRP 生産量の 4 割から 6 割が船舶・舟艇に使用されており、アメリカにおいても用途別では船舶が 1 位を占め

* 船体部

ている。船体に FRP を使用した場合の利点及び木製漁船における木材入手の困難な事情などから、FRP の船舶への需要は、ますます増加するものと思われる。

一般に船に用いられる FRP とはマット状 (chopped strand mat) 又は、織物状 (roving cloth) となったガラス繊維基材と不飽和ポリエステル樹脂からなる複合材料で、ガラス繊維基材にあらかじめ硬化剤及び添加物を混合した不飽和ポリエステル樹脂を含浸させ、手積み (ハンド・レイ・アップ法という) により所定の厚さまで重ね合わせることににより成形する。

近年、漁船に FRP が多く用いられているが、鋼製漁船と比べて最も大きな利点は、船殻重量が軽いということであり、スピードが出るということである。また、FRP 製漁船は表面層にゲルコート用樹脂を施すことにより外観を美しく仕上げることができ、さび及び腐食ということもなく鋼船に比べてメンテナンスが容易である。

マイナス面については、ヤング率が小さいので剛性が低い。伸びが小さいので破壊時の吸収エネルギーが小さいなどの点があげられる。

原 材 料

FRP 板を構成する原材料には、大別して

1. 強化繊維
2. 樹脂
3. 硬化剤
4. 促進剤
5. 充填剤

などがある。現在船体用として使用されている強化繊維の大半は、ガラス繊維である。樹脂としては、普通不飽和ポリエステル樹脂などの熱硬化性樹脂が用いられる。硬化剤は、樹脂が硬化反応を起こすための触媒で、一般的にはメチルエチルケトンパーオキサイド (MEKPO) などがあり、その反応を促進させるための促進剤としてナフテン酸コバルトなどが用いられる。また、充填剤には、揺変性付与剤や難燃性などの種々の性質を与えるものがある。

ガラス繊維

ガラスはその用途などによってさまざまな種類があり、板ガラス、びんガラス、理化学用ガラス、繊維用ガラスなどによって組成が大きく異なる。ガラス繊維は他のガラス製品に比べて単位重量当たりの表面積が大きい。例えば、直径 19 mm、表面積 11.4 cm² のマープル 1 個から約 5 μm のグラスファイバーを紡糸すると長さは 160 km、表面積は 25,800 m² にもなり約 2,300 倍になる。このため、ガラス繊維は大気中の水分や炭酸ガスの影響をたいへん受けやすくなる。このような性質を防ぐためにガラス繊維には耐風化性、耐久性のあるガラス組成が要求される。また、使用上の要求特性や経済性などを考慮して種々の特性をもったガラス組成が決定されている。現在最も多く使われているのは E-ガラス と呼ばれ、電気絶縁性に優れたホウケイ酸ガラスの一種である。また、表 1 に示すようにいろいろな特性のガラスがある。

表 1 グラスファイバーの種類と組成

成 分	E-ガラス	C-ガラス	A-ガラス	S-ガラス (S-994)	M-ガラス (YM-31-A)	G-ガラス (G-20)
	%	%	%	%	%	%
SiO ₂	52~56	60~65	72	64.3	53.7	71
Al ₂ O ₃	12~16	2~6	0.6	24.8		1
CaO	15~25	15~20	10	< 0.01	12.9	
MgO	0~6		2.5	10.3	9	
Na ₂ O+K ₂ O	0~1	8~12	14.2	0.27		11
Fe ₂ O ₃				0.2	0.5	
LiO ₂					3	1
BeO					8	
TiO ₂					2	
ZnO					3	
CeO						
B ₂ O ₃		2~7		< 0.01		
ZrO ₂						16
SO ₃			0.7			
特 徴	一般的 電気絶縁性	耐 酸 性	グラスウール の 組 成	高引張強度	高 弾 性 率	耐アルカリ性

ガラス繊維の製造法を図1に沿って説明すると、まず原料を混合炉で十分混合し、溶融炉に移して1,300°C以上でガラスを溶解してでき上がったものがマーブルと呼ばれる球状のガラス球である。これを紡糸炉で再溶融し、ノズルから10 μ m程度のフィラメントにして引き出す。現在では、ダイレクトメルト法を用いて、溶融ガラスを直接紡糸炉に導いて繊維化するのが普通である。ノズルから出てきた数百のフィラメントは集束機に導かれて集合剤や表面処理剤を塗布され、紡糸機に巻き取られる。このフィラメントの束をストランドと呼んでい

る。集合剤で結合されたストランドの集束度は樹脂の含浸速度に大きな影響を与える。そしてこのストランドが各種の加工工程を経てチョップドストランドマットやロービングクロスなどのガラス繊維基材となる。

チョップドストランドマットは、ストランドをチョップマット成型機に通して作られる。チョップマット成型機ではストランドを数センチの長さに切断してマット状にランダムに分散させ、結合剤を用いて分散された各々のストランドを結びつけて1枚のマットとする。フィラメントをストランドに集束させるために使った集合剤を

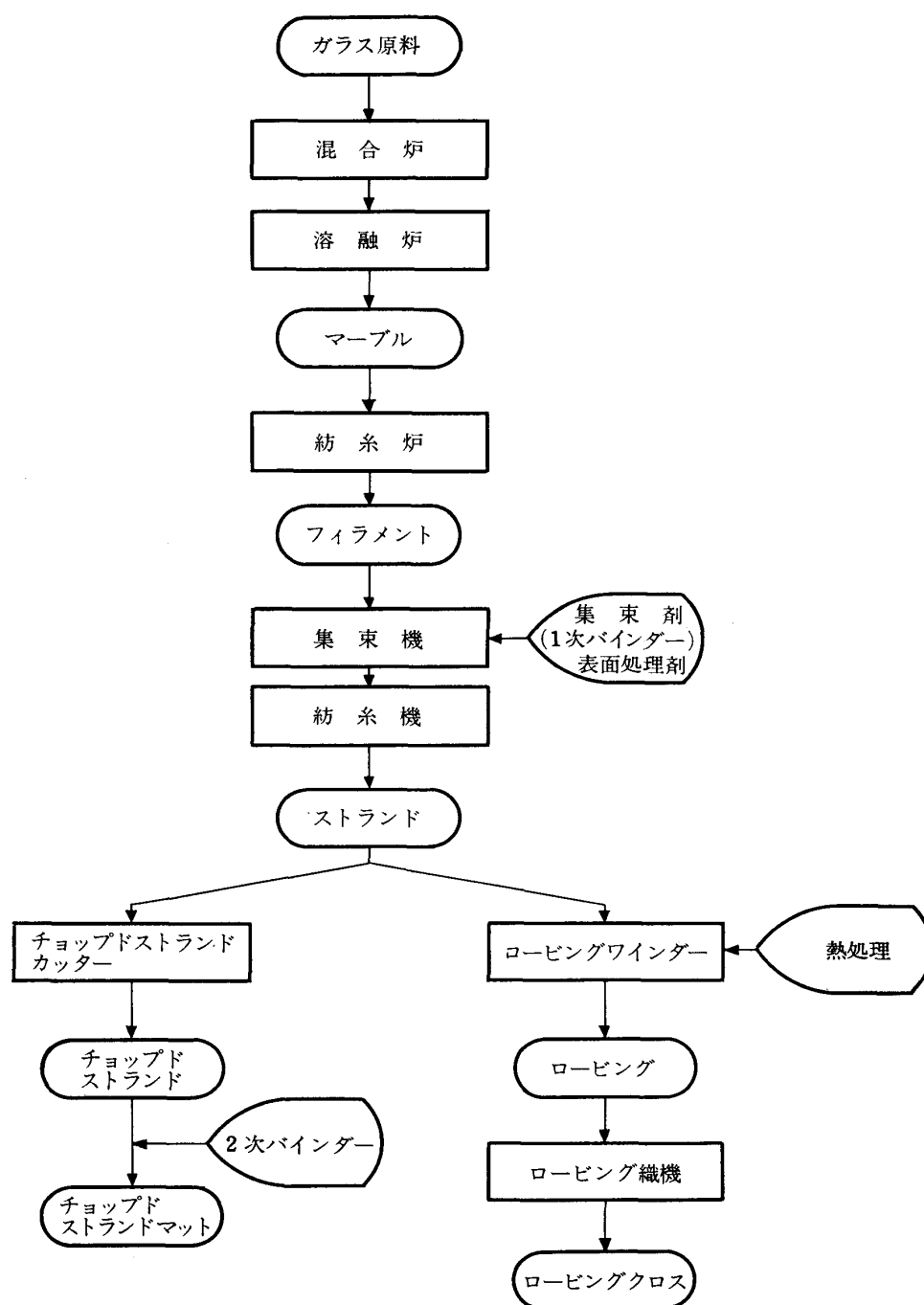
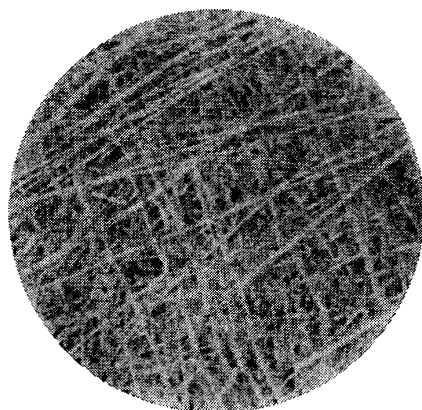
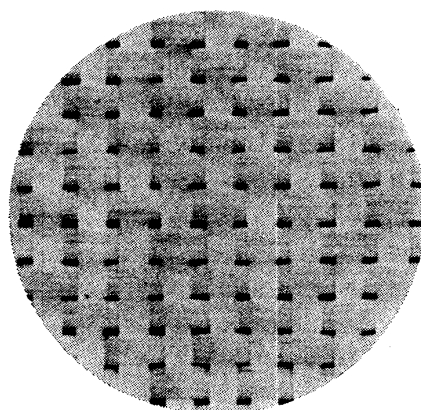


図1 ガラス繊維の製造法



チョップドストランドマット



ロービングクロス

図 2 チョップドストランドマットとロービングクロスの表面

1 次バインダーと呼ぶのに対して、ここで使う結合剤は 2 次バインダーと呼ばれる。このバインダーには溶性タイプと不溶性タイプがあるが、ハンドレイアップ用としてはスチレンに溶解しやすい溶性タイプのポリエステル樹脂パウダーがよく使われる。

ロービングは、数十本のストランドをロービングワインダーで 1 本の束にまとめることによって作られる。このとき、熱処理によりストランドを結束させる。この結束性が強いと 1 本のストランドと同じようになる。ロービングの結束性はストランドの集束性と同様に樹脂の含浸性に影響を与える。

ロービングクロスはロービングをロービング織機で織って作られる。織り方には、平織り、あや織り、一方向織り、スタレ織りなどがあるが、一般には平織りがよく使われている。

ハンドレイアップにより積層を行う場合は、チョップドストランドマットとロービングクロスを交互に積層する“MR 積層”が最もよく使われるが、この積層に及ぼすガラス繊維の性質について少し述べてみたい。

樹脂がガラス繊維の間に含浸する過程は大別して二つある。まず、ストランド間に樹脂が含浸 (Wet-through) して、次にストランドの 1 次バインダーが溶解してフィラメントの間に含浸 (Wet-out) する。Wet-through は 1 次バインダーの溶解速度が遅く、2 次バインダーの溶解速度が速いほど良い。Wet-out はその逆で Wet-through と相反する性質を持っている。含浸性の良いものは、積層時に樹脂中の泡を除く脱泡作業において大きな気泡をとり除きやすい。また、フィラメントの太いものやストランドの集束度の大きいものは、スプリングバックを起こしやすく、型なじみが悪い。このため、樹脂の接着力よりガラス繊維のスプリングバックが大きいと、ガラス

繊維が型から浮き上がり、型とガラス繊維の間に気泡や樹脂のたまりを生じやすい。一般的には番手の大きい繊維ほど糸が太く、型なじみが悪い。また、繊維の集束剤は樹脂の硬化時間を速める傾向があり、一般的に樹脂自身のゲル化時間(ポットライフ)よりガラス繊維に樹脂を含浸させたときのゲル化時間(マットライフ)の方が短い。

ガラス繊維の保管については、手荒い取り扱いによる損傷を避けるだけでなく、繊維に一度結露すると乾燥させるのが困難であるから十分注意する必要がある。具体的には、開梱から積層までの期間を長くせず、開梱した時の外気との温度差に注意を払う必要がある。

不飽和ポリエステル樹脂

FRP 用の樹脂としては普通不飽和ポリエステル樹脂が用いられるが、その成分は、主に

1. 不飽和 2 塩基酸
2. 飽和 2 塩基酸
3. 2 価アルコール
4. モノマー (単量体)

から成っている。樹脂にはその使用目的によっていろいろな種類があるが、FRP 船用には、

1. ハンドレイアップ用樹脂
2. スプレーアップ用樹脂
3. ゲルコート用樹脂

などがある。その主なものについて以下に述べてみたい。

まず、不飽和 2 塩基酸としては通常無水マレイン酸やフマル酸が最もよく使われ、飽和 2 塩基酸としては無水フタル酸やイソフタル酸などが使用される。2 価アルコールとしてはエチレングリコールやプロピレングリコールなどが使われている。

不飽和酸又は飽和酸のカルボキシル基とアルコールの

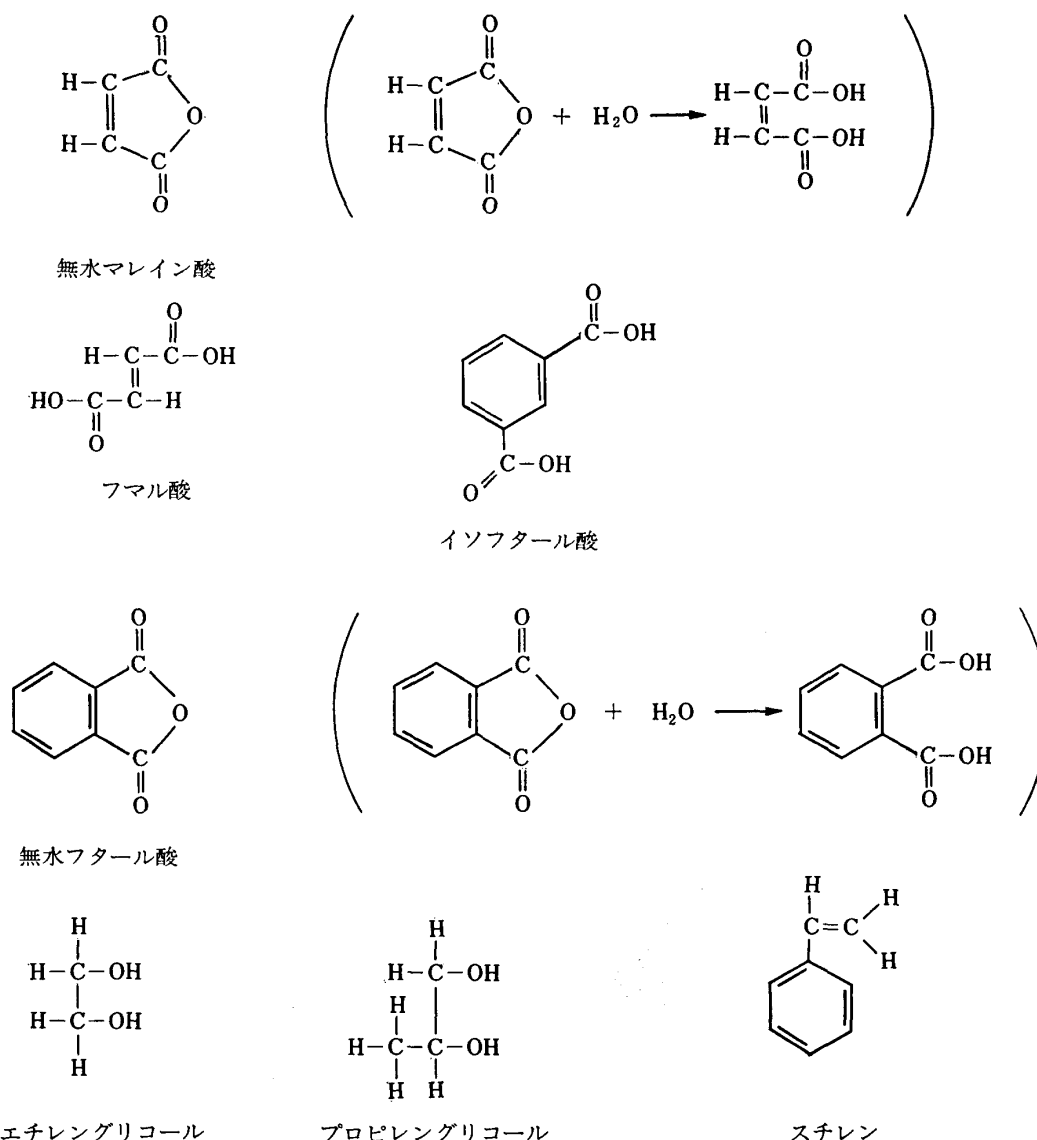
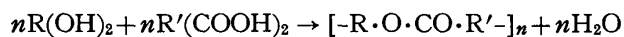


図 3 不飽和ポリエステル樹脂の成分

水酸基から加熱して縮合反応によりポリエステルを作る。



これをエステル化反応といい、鎖状の高分子化合物で、これをスチレンなどのモノマーに溶解したものが、積層前の不飽和ポリエステル樹脂液（ベースレジン）である。これに硬化剤（触媒）を加えて加熱あるいは自然放置すると、不飽和酸の不飽和結合（ $-\text{C}=\text{C}-$ ）とスチレンの不飽和結合とが重合反応して3次元の網目状の構造に硬化する。したがって飽和酸に比べて不飽和酸の割合を多くすると重合反応する部分が増えるので、より硬質のものが得られる。これを高反応性樹脂といい、飽和酸と不飽和酸のモル比が同じくらいのものを中反応性、飽和酸が過多のものを低反応性と呼んでいる。高反応性のものほど硬化が速く硬質のものができるが、発熱温度が高く

なり硬化の際収縮率が大きくなる。このため成形品にクラックが入りやすいなどの欠点もでる。スチレンモノマーは、前述したようにポリエステルを溶解希釈する働きと、ポリエステルと重合反応してポリエステル同志を結合する架橋剤としての働きを持つ。このスチレンモノマーの割合を増すと、樹脂は希釈されて粘度が下がり、作業性はよくなるが、

1. 硬化後、未反応のスチレンが残り、これが散逸して樹脂やせを起こす。
2. もろくなり、機械的強度が低下する。

などの欠点がある。したがって、粘度調整のためにスチレンを追加する時には十分注意する必要がある。

図 4 の不飽和ポリエステル樹脂の製造法に沿って更に説明を加えると、まず原料になる飽和酸、不飽和酸、2 価アルコールを反応がまに入れてかくはんしながら

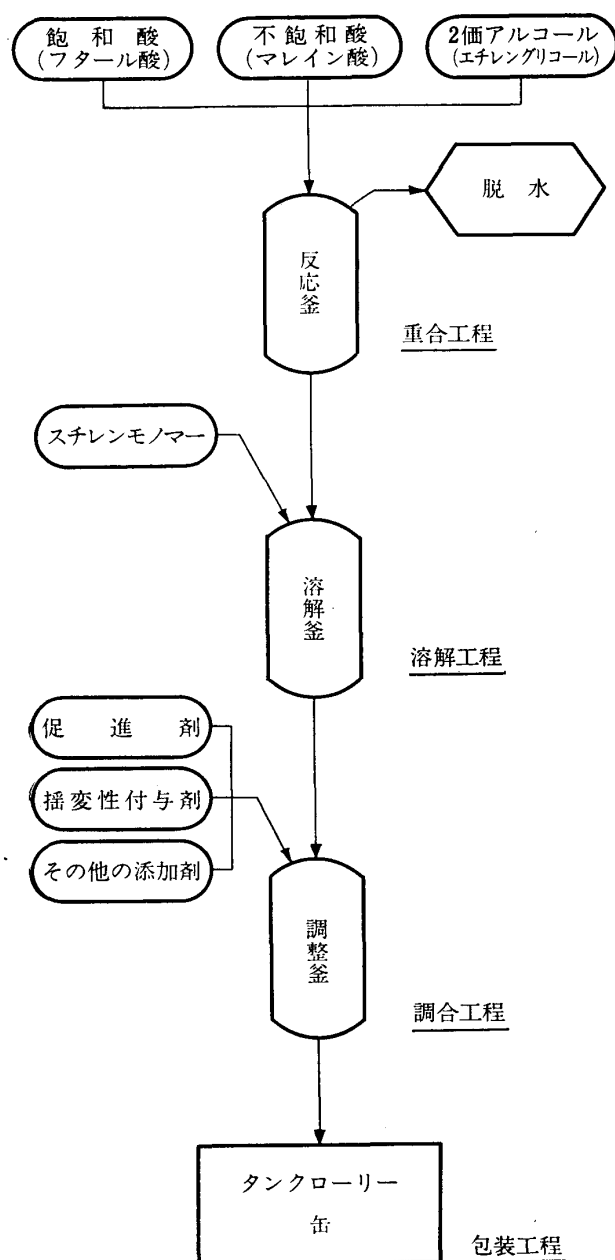


図4 不飽和ポリエステル樹脂の製造法

ーリーに詰められて、出荷検査時の成績を記載した検査表をつけて出荷される。調整がまだ添加される添加剤には、促進剤、揺変性付与剤、空気硬化剤などがある。

促進剤には普通ナフテン酸コバルトやオクテン酸コバルトがよく使われ、重合反応の際の硬化剤の働きを高め、硬化反応を速める。促進剤を含んだ樹脂に積層開始前に硬化剤を混合するタイプを2液性樹脂と呼んでいる。これに対して、樹脂と促進剤と硬化剤を分離しているものを3液性樹脂と呼んでいる。

揺変性付与剤には、無水ケイ酸を主成分とするアエロジルが使われる。揺変性(チクソトロピー)とは、静止していると半固体状をしていて、これにかきまぜるなどの運動を与えると流動性を回復する性質をいう。したがって、積層作業中は作業性をよくするために樹脂の粘度を低下させ、積層後樹脂がたれないよう粘度を高める作用をさせるために揺変性付与剤が添加される。

空気硬化剤の主成分はパラフィンワックスである。樹脂には、この空気硬化剤を含まない非空気硬化性樹脂(ノンエアキュアタイプ)と、空気硬化剤を含んだ空気硬化性樹脂(エアキュアタイプ)とがある。Non-Air-Cureタイプ樹脂は、空気中の酸素により硬化が妨げられ、樹脂の表面がいつまでもベタつき硬化しない。これを硬化させるためには、セロファンやフィルムを表面にはり付け空気を遮断する必要がある。これに対して、Air-Cureタイプ樹脂は、積層後樹脂の表面にパラフィンワックスの薄い層を形成して空気が遮断されるので硬化する。このタイプの樹脂を使用した後に2次接着(硬化したFRP積層板の上に更にFRPを積層すること)をしたり塗装を行う場合には、表面をサンディングしてワックス層を除く必要がある。

積層直前に樹脂に添加される硬化剤には、ナフテン酸コバルトの促進剤と組み合わせてメチルエチルケトンパーオキサイド(MEKPO)が最もよく使用される。硬化剤の添加量が多すぎると短い架橋の多数によって結合した組織となり、十分な強度が得られなくなる。また、硬化剤が不足すると不完全硬化を起こすので、更に良くない。

その他、耐熱性、自己消火性などの性質を持たせるために塩素系の添加剤を加えたり、ゲルコート用樹脂では着色剤を添加する。

また、長期間経過した樹脂は粘度が高くなり、硬化特性が変化するので、貯蔵は冷暗な場所にして貯蔵期間はよく管理されなければならない。

成 形 型

現在、ハンドレイアップ法により船体を積層する場合

200°C前後でエステル化反応をさせる。反応の進み具合は、エステル化反応をしていないカルボン酸の酸価と、エステル化反応によってできた水の量の測定などによって判断される。反応がまだできた不飽和ポリエステルは、スチレンモノマー、重合禁止剤といっしょに溶解がまに移動され溶解される。重合禁止剤にはハイドロキノンが普通使われる。これは、不飽和アルキッドとスチレンモノマーを混合する際に発熱して重合反応を起こすので、これを禁止するため、保存安定性を持たせるために添加されるものである。溶解がまだ作られた樹脂(ペースレジン)は、調整がまだ各種の添加剤を加えて調整し、完成する。完成したペースレジン、缶やタンクロー

合、その大多数がめす型成形によっている。めす型には木製めす型と FRP 製めす型とがあり、経済性の理由などから同型船を数多く作る場合には FRP 製めす型がよく使われ、特殊船や大型船などには木製めす型がよく使われている。

木製めす型を作る場合、型板に合板を使用するので型の精度を上げるため、ハードチャイン船型などのように比較的直線の多い船型が選ばれている。木製めす型は、まず角材で組んだしっかりした水平な土台を作ることから始められる。次に、米松等でできたフレームを土台に立て、これに目板と呼ばれる小さな縦通材を取り付ける。その上に合板を接着剤等ではり付け、表面仕上げをしてトップコートを塗って仕上げられる。

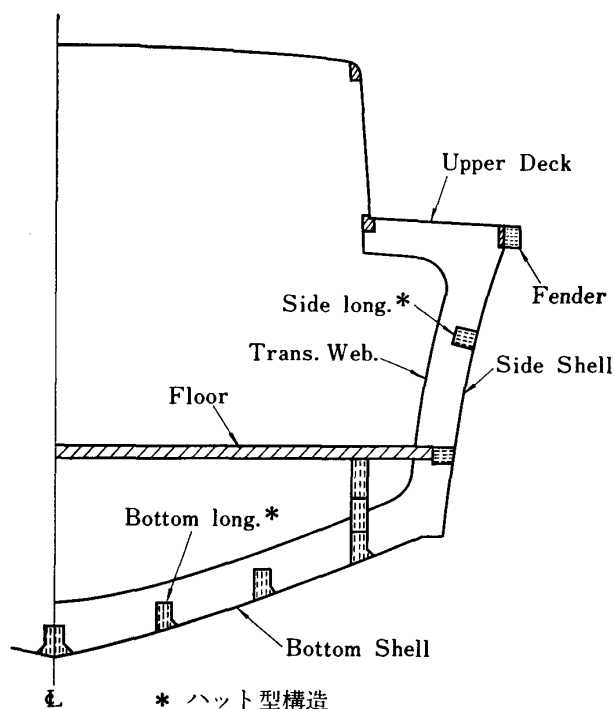


図 5 FRP 船の横断面図 (スケッチ)

FRP 製めす型は、めす型用の木製めす型に FRP を積層して作られる。めす型は、木製めす型と同じような手順で作られる。FRP 製めす型には、単板構造やサンドイッチ構造のものがあ、頑丈な木枠によって支えられている。また、FRP 製めす型に使用される材料では、ガラス繊維は特に型用のものはないが、ゲルコートや積層用樹脂は型用の樹脂として一般にイソフタル酸系の耐熱性の良い樹脂が用いられている。めす型は、船体を型から脱型するのが容易になるよう、分割されたり、脱型用ノズルが取り付けられることもある。脱型用ノズルは、このノズルから水圧をかけて船体を型から浮き上がらせるために設けられる。

成形工事

成形工事は、樹脂の硬化特性に合わせて計画された作業管理のもとで行われる。樹脂の硬化速度は環境温度に大きく影響されるので、まず工場内の環境温度を 15～30℃ の範囲で一定に保つ。また、水分が樹脂の硬化を妨げるのを防ぐために湿度を 60～80% に保ち、そのほか換気、集塵、直射日光の遮へい設備などを整える。

積層工程について述べる前に、樹脂の硬化特性について少し述べておく必要がある。不飽和ポリエステル樹脂の重合の速度は触媒の添加量、促進剤の添加量によって違う。また、温度が高くなれば重合の速度は速くなり、温度が低くなれば重合の速度は遅くなる。したがって作業環境の温度が高すぎると樹脂の粘度の高まりが速くなり、作業性を悪くし、結果として製品の性能劣化を引き起こす。また、一度に何層もの積層を行うと薄い積層に比べて発熱量が多く、温度は上昇して重合速度は速くなる。樹脂に硬化剤を入れた場合、硬化反応が起こる前に触媒と重合禁止剤が反応する誘導期間と呼ばれる期間がある。この期間中は樹脂の粘度はあまり上昇せずゾル状の“ウェット”な状態が保たれる。その後共重合反応が進み、発熱しながら硬化し最後に化学的熱的に安定した不溶不融物となる。発熱反応がおさまって樹脂が固体となってもそれで硬化が完了したわけではなく、それから長い時間をかけて硬化反応が進み、常温では数週間もかかって完全硬化する。この固体となってから初めの約 24 時間程度は樹脂の中に未反応部分が多く残っているので、この上に新たな積層を行っても接着力はウェットな状態の上に積層した場合(ウェット・オン・ウェット)の 95% 程度ある。このような状態を“グリーン”な状態と呼び、この上に積層することを“ウェット・オン・グリーン”と呼んでいる。したがって、積層工程を途中で中断する場合は、少なくとも 24 時間以内に次の積層を開始しなければならない。

成形工事の概略について積層工程を中心に述べると、まず初めにほこりや油膜のない清潔なめす型にゲルコートを吹き付けることから始められる。ゲルコート吹き付け時期は、ゲルコート層へのほこりの混入を避けるため周囲で他の作業の行われていない時期が選ばれる。ゲルコートの上には普通 M 300 程度のバックアップ用のマットを積層する。これは、ゲルコートの上に番手の大きいマット (M) + ロービングクロス (R) を直接積層すると、樹脂の硬化収縮によりゲルコート面を引きつけてロービングクロスの織り目が表面に現れるので、これを防ぐためである。したがってバックアップ層の硬化が進み

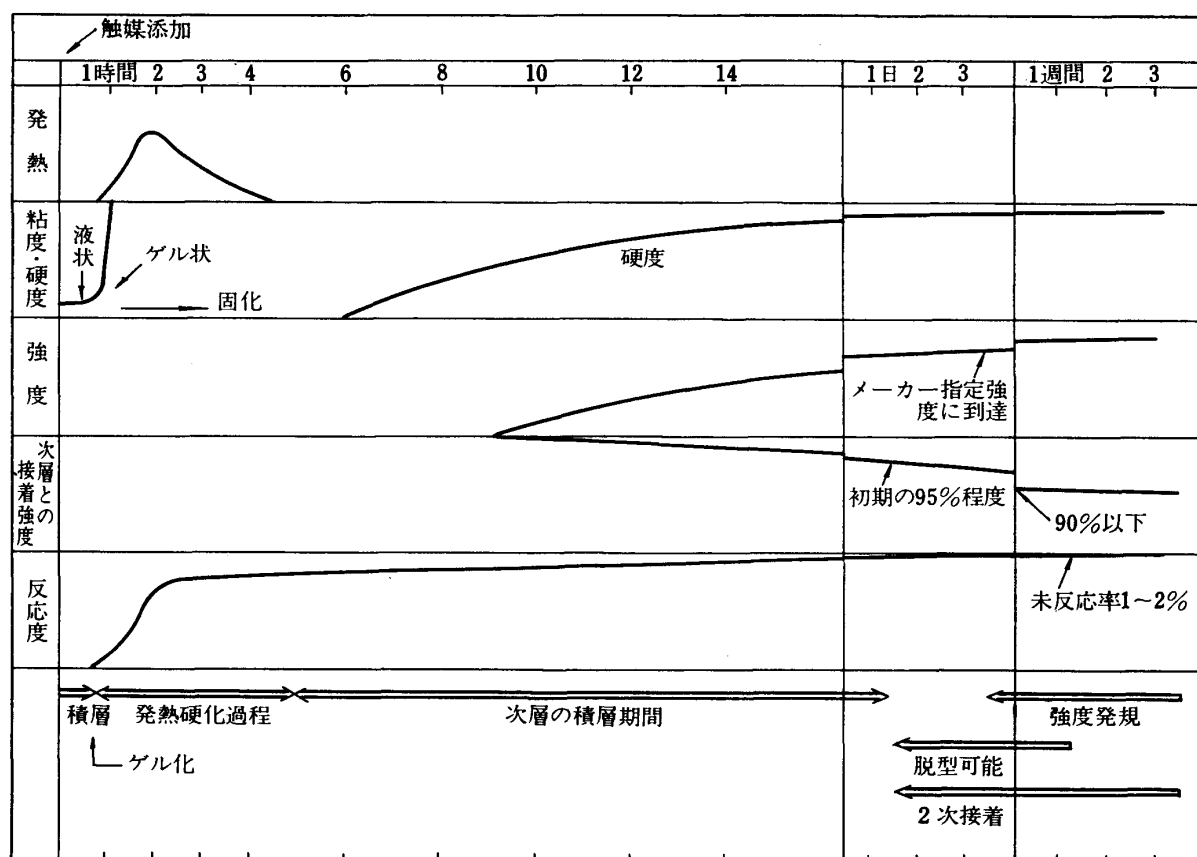


図 6 不飽和ポリエステル樹脂の硬化特性

グリーンな状態になってから本格的な積層工程が開始される。しかし、この表面のロービングクロス（繊維目）の露出は強度にあまり悪影響を及ぼさないで、漁船などの実用船ではこのバックアップ層を省略することが多い。

ゲルコート又はバックアップ層の積層が終わると、その上にマットとロービングクロスを交互に積層してゆくが、マットの上にロービングクロス（繊維目）を積層する場合には、その層間剪断強さが最も良いウェット・オン・ウェットで積層してロービングクロスの上からヘラやローラーを使って脱泡する。ロービングクロスの上にマットを積層する場合は、ロービングクロス（繊維目）に樹脂のたまりが少ないグリーンな状態のものの上に、ウェットなマットを押し着けて広い接着面を確保するよう、ウェット・オン・グリーンで積層する。これとは反対に、ウェット・オン・ウェットでロービングクロスの上にマットを積層すると層間の樹脂不足などによる接着強度の低下を起こすことがある。したがって、普通積層は M+R を1組としたウェット・オン・ウェットで積層し、R面からヘラでしごいて余分な樹脂を除去する。このときロービングのスプリングバックに注意して層間はく離、内部空洞や樹脂だまりを残さないようにする。使用する

樹脂はノン・エア・キュア・タイプの樹脂で硬化剤を0.5%~2.0%程度添加してマットライフをおよそ40分~60分程度にしているの、含浸脱泡の作業は樹脂の粘度があまり上昇しないうちに行い、ガラス含有率をマットでは30%、ロービングクロスでは50%、M.R構成では40%前後を目標に行わなければならない。また、含浸脱泡時にヘラなどで強くしごきすぎるとストランドが移動して偏り、均一なマット層を得ることができなくなるので注意しなければならない。こうしてM+Rの1組の積層が終わると発熱がおさまリ、ほぼ室温まで温度が低下して積層面がグリーンな状態になるのを待ってから、次のM+Rの積層を同様の手順で行う。したがって、R+MやM+R+Mなどの繰り返しは接着強度の劣化を招くので一般には行われぬ。最上層の繊維にはロービングクロス（繊維目）を保護するためにマット層で止め、樹脂は大気にさらされる面の硬化が十分進むようにエア・キュア・タイプのものを使用する。更にその上へ骨部材や隔壁を取り付ける場合には、最上層が十分に硬化した後表面に形成されたパラフィンワックス層を除いてから骨部材等の2次接着が行われる。2次接着により部材が取り付けられる面はサンダーをかけてワックス層を除き、更に繊維を少し露出させる程度まで表面を荒し

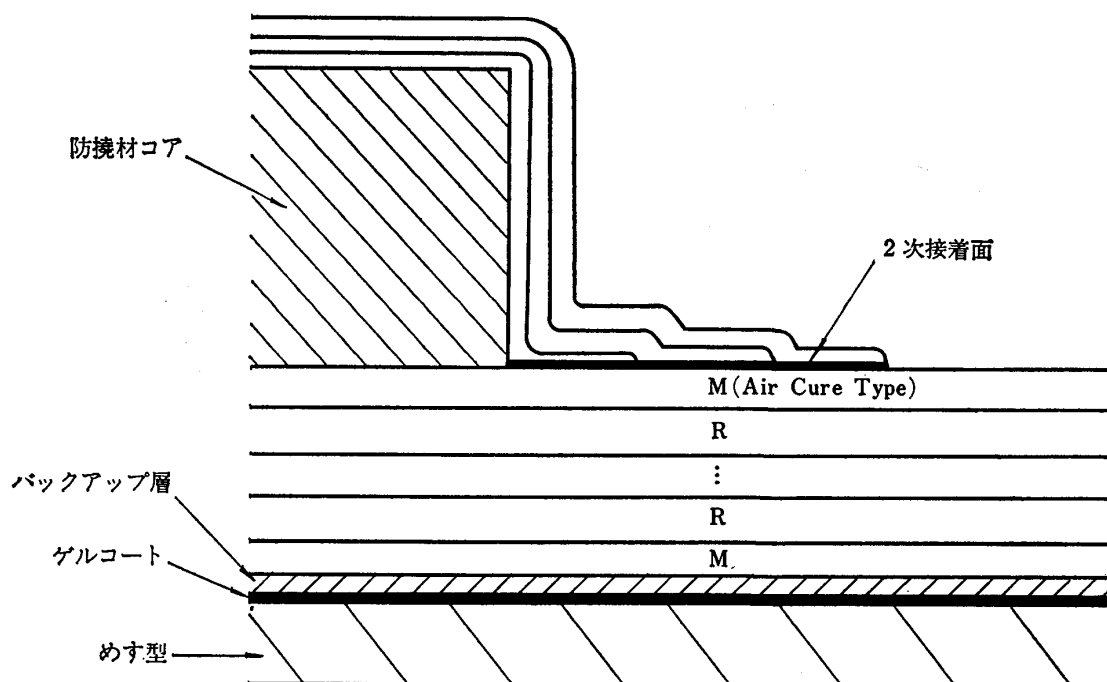


図 7 FRP 船の積層断面

て接着面の接着力を確保する。このため、最上層がロービングクロスであると、ロービングクロスの長い繊維が切断されて引張強度等の低下を招くので、これを防ぐためにも最上層はマットで止める必要がある。FRP 船の防撓材は、鋼船のような逆山形やT形の断面形状にすると、上向きの積層をすることになり、作業性を悪くし欠陥を生じやすくなるので、発泡体や木材などの芯を置いてハット形に積層する。また、ガラス繊維に継目を設ける場合には、樹脂のポットライフ、積層時間や作業人員などを考慮に入れたうえで、その数は最小限にとどめるよう計画された積層要領図に基づいて裁断されたものを使用し、継目の重ねしろは 50 mm 以上とし、隣り合う層の間ではこの重ねしろの中心は 100 mm 以上離すようにする。

積層工程が終了すると、次に成型品を成型型から離脱する脱型作業に移されるが、脱型後の船体の変形を防ぐために十分な横強度が確保されるよう、骨部材や隔壁などが船体に取り付けられた段階で脱型作業にはいる。また、脱型前にバーコル硬度計で積層面が十分硬化していることを確認する。脱型可能な硬さの目安はバーコル硬さでおよそ 35 以上であるので、普通積層後最低1日程度の常温でのアフターキュアが必要である。船殻の脱型方法には成型型を床面に固定してチェーンブロックやホイストを使って船殻を引き抜く方法が小型船に多く見られる。比較的大型の船殻ではあらかじめ型を左右の割り

型や分割型に作り、それを取り外していく方法がよくとられる。また、あらかじめ型に取り付けられたエアノック用のノズルから、空気や水を型と成型品との間に押し込んで成型品を引きはなす方法が併用される場合も多い。脱型時に船殻に大きな変形や損傷を与えないようにチェーンブロック等の配置や取り付け方法に注意を払い、脱型後には損傷の有無等を確認するために検査が行われる。脱型された船殻は、ねじれやたわみなどの有害な変形や局部的変形を生じないように、内部構造を考慮してできるだけ大きな面で受け均一に支持される。船殻外板の積層が完了すると、次に甲板の取り付けや構造部材や船殻部品の取り付けなどが行われる組立作業にはいる。組み立てには積層板同士又は積層板と他の材料の組み合わせが主体となり、これらを組み立てる方法として接着又は固着がある。

品質管理

FRP 船は鋼船と違って修理や補修が非常に困難である。例えば、外板に損傷があり、損傷部分を切り取り新たにその部分を積層し直したとしても、継手部は2次接着となり継手の強度は周囲に比べて低下してしまう。また、積層時の欠陥はウェットトリミング可能な時期に補修されなければならない。したがって、FRP 船の品質管理は、鋼船のような建造後の検査体制を強化するという方法ではなく、積層前の作業計画や積層中の作業管理

に重点をおいて行われる。

作業管理の項目を作業手順に沿って少し列挙してみると、

1. 原材料の品質
2. 環境温度、湿度等
3. 型の精度、表面の状態
4. 樹脂液の調合
5. 離型剤の塗布状態
6. ゲルコート
7. ガラス繊維の重ねしろ
8. 樹脂含浸状態の過不足
9. 脱泡状態
10. ウェットトリミング時期の補修
11. 2次接着面のサンディング
12. 脱型前の船体の硬化状態

その他にもいろいろあるが、上記項目中には、作業管理者がチェックするだけでは不十分あるいは時期的に間に合わないものが多くあるので、作業者の教育あるいは、作業日誌などを作業者につけさせて自主管理させることも大切である。

また、欠陥の発見は、

1. 目視により、大きい空洞、外面はく離、クレージ、白化、樹脂欠乏、含浸不良、樹脂過多、表面のきず、クラックなど
2. 木づち、プラスチックハンマー等の打音により、硬化不良、内部はく離、内部の大きな空洞、接着不良など
3. 臭覚によりスチレン臭気強いものは、未硬化などがある。

補修方法は、

1. ウェットトリミング
2. 切り替える場合には、周囲に十分なテーパーを持たせ、増厚積層を行う
3. 不完全硬化は、適当な加温、加熱（アフターキュア）などによる

などがある。

検査には、表面目視検査、硬度測定、ハンマー試験などのほかに、

1. 建造に先立って、船底外板、船側外板、上甲板と同一積層構成、同一成形方法で作られた試験片による「FRP 材料試験」
 2. 建造後に、船体より採取された積層板又はこれと同等とみなされる積層板（外板の耳の部分など）より採取された試験片による「FRP 強度試験」
- などがある。

NK 入級船について

現在まで入級した船についての紹介

- a. 東九州造船建造、スリランカ向け漁業訓練船

$L = 25.24 \text{ m}$

$B = 5.00 \text{ m}$

$D = 2.30 \text{ m}$

$d = 2.00 \text{ m}$

総トン数=69.00 トン

主機出力=400 PS (Diesel)

概要：本船は、NK に入級した最初の FRP 船である。船殻、上部構造は FRP であり単板構造である。骨部材には心材に合板を用いている。

- b. ニュージャパンマリン建造、アブダビ向けサービス

ボート兼水先船

$L = 13.15 \text{ m}$

$B = 3.90 \text{ m}$

$D = 1.77 \text{ m}$

$d = 0.62 \text{ m}$

総トン数=25.00 トン

主機出力=190 PS×2 (Diesel)

概要：本船は、昭和 52 年に制定された NK 強化プラスチック船規則（以下、NK FRP 船規則）により設計及び検査されている。外板は FRP 単板構造で船側外板は 6 層、船底外板は 7 層、竜骨は 13 層からなっており、甲板は 12 mm の合板を用い表面にマットを積層している。

原材料のゲルコート用樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ガラス繊維基材等はすべて NK の承認された材料を使用している。

- c. 横浜ヨット建造、エジプト向けサービスボート

$L = 10.04 \text{ m}$

$B = 3.20 \text{ m}$

$D = 1.60 \text{ m}$

$d = 0.75 \text{ m}$

総トン数=14.00 トン

主機出力=300 PS (Diesel)

概要：NK FRP 船規則により設計及び検査されている。外板は FRP 単板構造で船側外板、船底外板とも 8 層で、竜骨は 11 層からなっている。甲板は FRP 単板構造で 6 層からなっている。原材料は NK 承認品である。なお、本船はシリーズ船で 8 隻建造された。

- d. ヤマハ発動機建造、ビルマ向けパトロールボート

$L = 14.79 \text{ m}$

$B = 4.60 \text{ m}$

$D = 2.20 \text{ m}$

$d = 0.75 \text{ m}$

総トン数=34.00 トン

主機出力=450 PS (Diesel)

概要: NK FRP 船規則により設計及び検査されている。外板は FRP 単板構造で船側外板, 船底外板とも 9 層で, 竜骨は 14 層からなっている。甲板は 9 mm の合板を用い両側に 3 層ずつ積層している。上部構造は 6 mm の合板を用い両側 3 層の積層をしている。原材料は NK 承認品である。

おわりに

以上の説明により FRP 船というものについて少しでも理解いただけたと思う。

なお, 本稿の執筆に当たって参考文献中丹羽誠一氏の FRP 船講座を多分に参考とさせていただいた。ここに改めて謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 丹羽誠一: FRP 船講座 〈1〉〜〈33〉, 船舶 No. 553~573, No. 576~587
- 2) 金原 勲, 竹鼻三雄: 船舶用 FRP の強度問題, 日本造船学会誌 No. 595
- 3) 日本小型船舶工業会: FRP 船用語標準, 1977.3
- 4) 強化プラスチック技術協会編: 強化プラスチックハンドブック, 日刊工業新聞社
- 5) 日本小型船舶検査機構: FRP 船原材料の特性と検査基準に関する研究, 1978.3, 1979.3
- 6) FRP 船の積層技術試験に関する調査研究報告, 日本造船研究協会, SR 16, 1980.3
- 7) FRP 船技術指導書 (総合編), 日本小型船舶工業会
- 8) 同上 (管理編)
- 9) 同上 (工作編)
- 10) FRP 漁船講座 (第 1 編), 漁船協会, 1973.1
- 11) 同上 (第 2 編), 1978.3
- 12) 戸田孝昭: 強化プラスチックボート, 舵社
- 13) Provisional rules for the application of glass reinforced plastics to fishing craft, Lloyd's register of shipping
- 14) Rules and regulations for the classification of yachts and small craft Part 2 Chapter 2 Glass reinforced plastics, Lloyd's register of shipping, Aug. 1978
- 15) Rules for building and classing reinforced plastic vessels, American Bureau of shipping, 1978
- 16) Tentative regular for bygging og klassifikasjon av fortøyer av glassfiberarmert plast, 1972, Det norske veritas
- 17) Glass reinforced polyester hulls, Bureau veritas, Guidance note N.I. 139 BM 2, Jan. 1970
- 18) 強化プラスチック船規則, 日本海事協会, 1977
- 19) 強化プラスチック船規則解説, 日本海事協会会誌 No. 163, Apr. 1978
- 20) 寺田泰治: FRP 船におけるサンドイッチ構造について, 日本海事協会会誌 No. 175, 1981