

## FRP 成型の現状と問題点

積水化学工業株式会社 清水 茂  
第1事業本部開発室京都研究室課長

## 1. はじめに

FRP の機械的強度は、その成形方法とガラス含有量の違いによって、大きく左右される。にもかかわらず、「鉄よりも強く、アルミよりも軽い」というキャッチフレーズで PR されたため、一般に FRP 材料は過大評価されがちである。このため思わぬトラブルに遭遇することがしばしばある。本稿においては、FRP 工業の問題点をピックアップし、それによって、FRP そのものを正當に評価し、実用に供されることを願ってとりあげることにした。

なお FRP とは Fiberglass Reinforced Plastics の略であり、広義にはメラミン、フェノール、シリコンなどの熱硬化性樹脂はもちろんのこと、ナイロン、ポリステレン、ポリカーボネートなどの熱可塑性樹脂をガラス繊維で強化した複合材をも含める場合もあるが、ここでは通常定義にしたがってポリエステル樹脂もしくはエポキシ樹脂をガラス繊維で強化したものに限定して述べる。

## 2. 日本における FRP の生産量

まず FRP の先進国、米国の需要実績を調べてみる。第1表<sup>1)</sup>は最近5カ年の FRP の生産量を示したものであり、第2表<sup>2)</sup>はその用途別需要量を示したものである。米国において注目すべきところはつぎのような点である。

(イ)航空機の市場では売上数量は少いが売上金額は大きい。これは軍需と結びついた米国の特殊性<sup>3)</sup>である。この分野における成形方法の主役はいうまでもなくフィラメントワインディング法である。

(ロ)船舶の分野は着実にその需要が伸展している。とくに 20ft. 以下の小型艇はマッチドダイ成形法により大量生産されており、漸次大型艇の領域までマspro化の傾向にある。

(ハ)輸送の分野においては、自動車の車体の成形が目立つ。すなわち Corvette や Avanti の車体、トラックやバスの車体などがマッチドダイ成形法により量産されている。

(ニ)建築の分野では、パネルとサンドイッチ構造が依然として指導的立場を占めている。最近の目新しいところ

表1 米国における FRP の年度別生産量  
(単位1000\$)

年度	1964	1965	1966	1967	1968
生産量	145.2	156.2	218.8	275.1	352.2

表2 米国における FRP の用途別需要量  
(1968年; 単位1000\$)

農 業	13.6
航 空	14.5
装置, ハウジング	13.2
建 材	46.3
消 費 材	23.6
電 気	32.2
船 舶	91.3
パイプ, ダクト, タンク	27.2
輸 送	74.5
そ の 他	16.8
合 計	353.2

としては浴室セットの一体成形や Decorative Penelling の成形が行なわれている。

(ホ)ここ1~2年前より農業分野が活況を呈するようになってきた。各種農器具、農耕用車両、農業用給排水管、タンク等がその主なものである。

つぎにわが国の場合について考えてみる。わが国においては、FRP そのものの需要実績が集計されていないので、つぎのようなデータより推測する。すなわち、FRP 用に使用されている樹脂は、ほとんど全部ポリエステル樹脂と見なしてよく、又 FRP 製品の平均ガラス含有率は約 31% であるから<sup>4)</sup>、FRP 用ポリエステル樹脂量<sup>5)</sup>に、平均含有量 31% に相当するガラス繊維量を加えてこれを FRP 生産実績とする。このようにして求めたのが、第3表の 1964年~1967年における生産量である。第3表の 1958年における生産量は、第4表<sup>6)</sup>の日本における FRP の用途別需要量より転記したものである。第3表より、わが国における年間需要量は米国のその 1/11~1/9 であることがわかる。また第4表より明かな

表3 日本における FRP の年度別生産量  
(推定；単位1000\$)

年 度	1964	1965	1966	1967	1968
生産量	12.8	14.4	20.3	29.1	37.8

表4 日本における FRP の用途別需要量  
(1968年推定；単位1000\$)

波 板, 平 板	5.6
バ ス タ ブ	8.3
便 槽, 浄 化 槽	6.3
ク ー リ ン グ タ ウ ー	1.7
舟 艇, 船 舶	1.8
自 動 車, 車 両	0.9
保 安 帽	1.6
タ ン ク 容 器 類	2.5
工 業 部 品	3.2
雑 貨 類	1.9
そ の 他	4.0
合 計	37.8

ようにわが国では、波板、平板、バスタブ、便槽、浄化槽、タンクといった板及び槽類の需要が主になっている。

### 3. 成形法の現況

FRP 工業の飛躍的發展にともない、その成形法もマスキングの必要性から成形能率向上を中心とした各種の応用技術が生れてきている。当初ハンドレイアップからはじまりマッチドダイ、プリミックス、真空バッグ、波板平板の連続成形、プルトリュージョン成形、遠心成形、フィラメントワインディング法というように新しい成形法が開発されてきた。しかしながらわが国における FRP 成形品の主体を占めるものは、さきにも述べた通

り、バスタブ、便槽、浄化槽、タンクという大型成形品であり、これらがほとんどハンドレイアップまたはスプレィアップ法によるものである。このためこの両法の占める割合は第5表<sup>7)</sup>に示すように50%となっている。これに比べて、米国においては航空機分野でフィラメントワインディング法を、車両及び船舶の分野でマッチドダイ法を採用しているため、わが国よりもハンドレイアップまたはスプレィアップ法の占める割合が小さくなっている。

そのほか、わが国の成形方法について注目すべきことは連続成形法である。この成形法は、プルトリュージョン成形法、またはその改良法の同類と考えてよく、平板波板および棒などを連続的に製造する方法である。しかし FRP 製品全体の需要が伸びているなかで、平板や波板の需要が頭打ちの傾向にあるので、本法の生産比率は遠からず相当低下するものと考えられる。

## 4. FRP 工業における問題点

### 4-1 樹脂についての問題点

#### 4-1-1 エポキシ樹脂について

年間需要で平均約25%の伸びをしめしているエポキシ樹脂の1968年における国内需要量は、約11,000\$であった<sup>8)</sup>。このうち、塗料用および電気絶縁用に全需要の2/3が消費されていて、FRP 用に使用される樹脂量はまだほんの微々たる量と想像される。

この原因は、ポリエステル樹脂にくらべて

(イ)樹脂の価格は、最低のものでも500~550円/kg であって、コスト高である。(一般用途のポリエステル樹脂は150円/kg)

(ロ)硬化させるには、一般に高温で長時間加熱を要する。そのため成形費が高価になる。もしこの硬化条件を守らなければ製品の耐熱性および耐薬品性が期待できない。

(ハ)もちろん常温硬化も可能である。しかしこの場合に

表5 FRP の成形法別生産比率

成 形 法	米 国 比率(%)	日 本	
		比率(%)	主 要 成 形 品
ハンドレイアップ法	30	50	{ バスタブ, 便槽 浄化槽, ポート
スプレィアップ法	8		
連続成形法	—	24	波板, 平板
マッチドダイ法	28	8	ヘルメット, 椅子, 絶縁板
プリミックス法	20	7	端子, 大釘止, 電気部品
フィラメントワインディング法	10	11	{ スポーツ用品, パイプ その他
そ の 他	4		
合 計	100	100	

も耐熱性および耐薬品性が劣化する。などの不利な点があるためと思われる。わが国において、エポキシ樹脂のFRP面における主用途は耐熱、耐薬品用FW用パイプおよび電気絶縁用FWパイプである。

4-1-2 ポリエステル樹脂について

一般にポリエステル樹脂といわれるものは、主として不飽和ポリエステルとビニル単量体とからなる。このうち、不飽和ポリエステルは不飽和2塩基酸、飽和2塩基酸およびグリコールとのポリ縮合反応により生成されていることは衆知の通りである。

さてポリエステル樹脂の性能を変えるには、ビニル単量体の種類および量を変化させたり、あるいは適当な添加剤を加えることによって得られるが、一般的には飽和あるいは不飽和2塩基酸とグリコールの種類を変化させて、ポリエステル樹脂に種々の性能を付与している。しかしながら実際の使用面より考えると、このような手段によって改良されたポリエステル樹脂でも、なおかつ問題点を包含している。ここではこれらの問題点について述べる。

4-1-2-1 耐薬品性

塩化ビニルやポリエチレンの如き耐酸、耐アルカリ性樹脂にくらべると、一般用ポリエステル樹脂の泣き所は耐薬品性である。いま一般用樹脂について耐薬品性結果をしめすと第6表<sup>9)</sup>、第7表<sup>10)</sup>のようになる。これらの表から一般用ポリエステル樹脂は酸にもアルカリにも相当侵されることがわかる。この原因は大体、媒体となる水により加水分解をうけて劣化したものと考えてよい。したがって、樹脂の耐水性を向上させることにより耐薬品性をも向上させることができるわけ、このような観点より改良された品種としてつぎのような樹脂をあげることができる。

(イ)イソフタル酸系樹脂

この樹脂は無水フタル酸の代りにイソフタル酸を使用して生成したものである。この場合無水フタル酸に比べイソフタル

表6 耐候性、耐水性、耐薬品性(常温)

保持率	種類 日数	水	3.5% 塩水	ガソリン	屋外 ばく露	30%硫酸	30% カセイ ソーダ
曲げ強さ保持率 (%)	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	2					59.5	16.8
	3	92.4	96.1	101.3	107.2		
	4					27.0	8.6
	6	92.7	97.7	104.6	100.7		
	12	96.5	94.6	102.7	100.7	測定不能	測定不能
	24	97.8	95.5	104.7	98.6		
48	84.2	84.2	88.2	83.9			
曲げ弾性率保持率 (%)	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	2					56.0	53.0
	3	113.1	115.4	118.3	119.3		
	4					19.9	測定不能
	6	105.4	108.7	113.6	113.2		
	12	105.4	107.0	115.1	112.9	測定不能	測定不能
	24	107.2	106.4	116.8	110.4		
48	93.7	89.9	93.6	88.9			

[条件] 樹脂：一般用硬質樹脂，強化材：ガラスクロス(55%)  
硬化：80°C，10分，2kg/cm<sup>2</sup>圧，100°C 2時間後加熱

表7 耐薬品性(24°C)

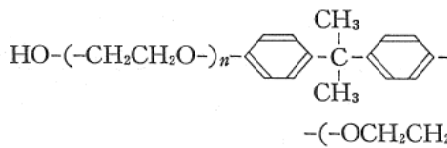
薬品名	曲げ強さ保持率(%)	曲げ弾性率保持率(%)
ブランク	100	100
5% 塩酸	83	99
30% 塩酸	78	95
5% 硫酸	82	88
30% 硫酸	85	87
5% 硝酸	82	100
30% 硝酸	70	87
25% アンモニア水	57	75
2% カセイソーダ	28	74
10% カセイソーダ	28	57
ベンゼン	100	100
モートル油	100	96
プロピレングリコール	100	98
四塩化炭素	100	98
メタノール	36	67
酢酸エチル	18	48
アセトン	18	47
ピリジン	0	0

[条件] 樹脂：一般用硬質樹脂  
強化材：ガラスクロス(65%)  
硬化：120°C，30分  
浸漬時間：30日

酸を使用すると、ポリエステル分子配列が直線的になりやすく、したがって不飽和ポリエステル分子が大きくなる。しかもこのことは、強度などに変化を与えることなくスチレンの多量配合を可能にするので、分子量増大効果以外にさらにエステル結合の極性基希釈効果が得られるので耐薬品性が向上する。

(ロ)ビスフェノール系樹脂

この樹脂は、エチレングリコールやプロピレングリコールの代りに、ビスフェノールAや水素添化ビスフェノールAあるいは下記のようなビスフェノールのポリエチレングリコールというものをを用いて生成したものである。



これらは一般のグリコールにくらべて炭素数が多く、また水酸基の間が長いので、耐水性ならびに耐熱性が向上する。

以上(イ)、(ロ)2つの樹脂の耐薬品性を比較すると、第1～4図<sup>13)</sup>より明らかなように断然ビスフェノール系樹脂の方が良い。しかしこの樹脂はコストが高く(400円/kg)かつ硬化に長時間の加熱(ハンドレイアップの場合80℃、8時間の after cure 必要)を要するという欠点がある。

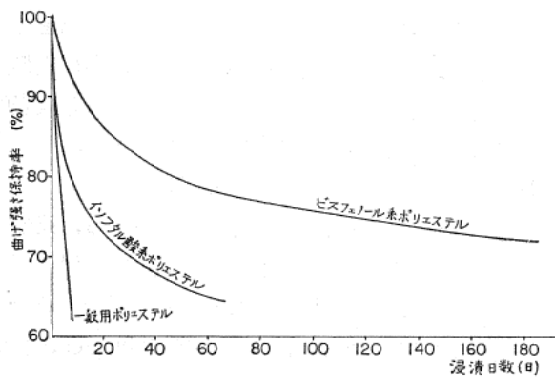


図1 90℃に於ける耐薬品性試験(5%塩酸)

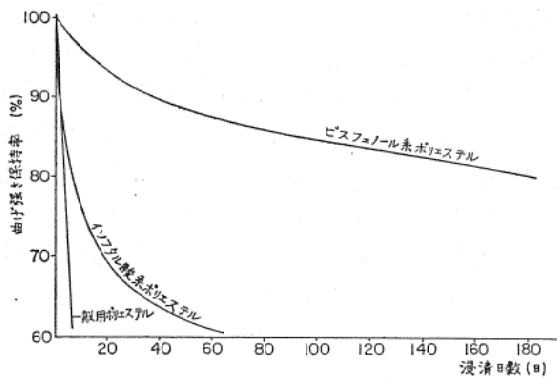


図2 90℃に於ける耐薬品性試験(20%硫酸)

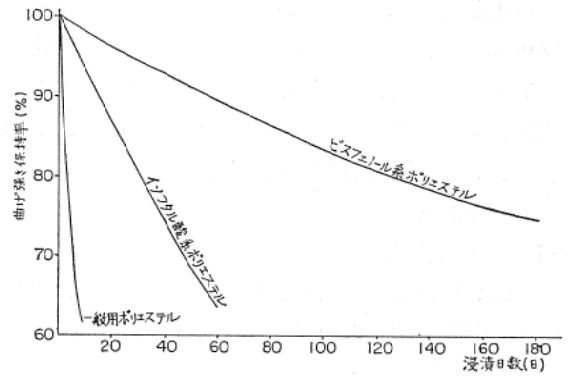


図3 90℃に於ける耐薬品性試験(10%苛性ソーダ)

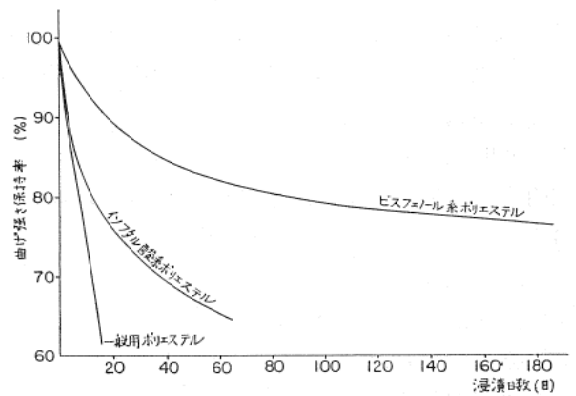


図4 90℃に於ける耐薬品性試験(蒸留水)

4-1-2-2 耐煮沸性

ポリエステル樹脂を air 加熱すると主としてエチレン結合の酸化ともなう破断が生じて熱劣化を起こす。しかしこの加熱が樹脂の熱歪温度以下の場合には、熱劣化の程度は一般的に大したことはない。これにくらべ樹脂を煮沸すれば水分の影響で加水分解して劣化する。いま一般用樹脂について air 加熱の場合と煮沸の場合について比較すると第5図<sup>13)</sup>のようになる。すなわち煮沸は air 加熱の場合より樹脂にとって苛酷であることがわかる。

一般に樹脂の耐煮沸性は注型品を煮沸してクラックの入る加熱時間により判定している。これによると一般用樹脂の耐煮沸性は50～100時間、イソフタル酸系樹脂で

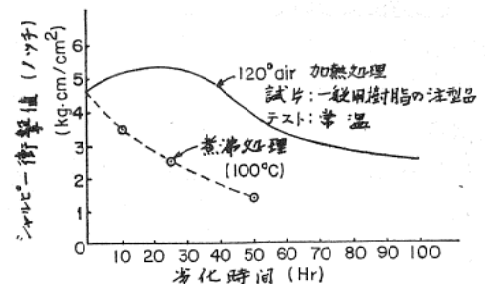


図5 熱劣化

500~600時間、さらにビスフェノール系樹脂で大体2000~2500時間と考えられる。このうちバスタブに使用されているのはコストの関係もあって主としてイソフタル酸系樹脂である。ポリエステル樹脂の耐煮沸性がこの程度のものであるから、実用面から考えるとやはり不満といわざるを得ない。

#### 4-1-2-3 耐炎性

ポリエステル樹脂は建材に利用されることが多いので、これを不燃ないしは難燃化することはきわめて重要である。しかしながらこの点に関しては完全に解決されていない。

一般に耐炎性樹脂として、(イ)塩素化パラフィンなど塩素系化合物を物理的に樹脂に混合したもの、(ロ)飽和2塩基酸として、無水クロールフタル酸や Het 酸を用いて生成した樹脂、(ハ)ジアリルベンゼンエスホネートのような含燐アリル樹脂がある。(イ)の場合には、安価であるが物理的性質が劣化する。(ロ)および(ハ)の場合、物理的性質の劣化を防ぐことができるが、高価になる。

なお(イ)、(ロ)、(ハ)各樹脂について共通していえることは、耐炎性樹脂といえども自己消火性程度のものであって、不燃性を附与するところまでは到底無理である。

#### 4-2 ガラス繊維についての問題点

最近の FRP 工業のいちじるしい発展にともない、補強材としてのガラス繊維基材についても、新製品の開発が行なわれている。その主要事項をあげてみると<sup>13)</sup>、(イ)フィラメントワインディング用ガラスロービングの開発、(ロ)フェイストランドマットおよび連続ストランドマットの開発、(ハ)表面処理剤の開発などである。

しかしこれらの開発は既存のガラス繊維の品質そのものの改良ではなく、各々の用途に適するようにガラス繊維の2次的形態の変換、もしくは処理剤を改善したにすぎない。したがって、依然としてガラス繊維自体の基本的欠点である(イ)摩擦に弱いこと、(ロ)風化作用により劣化することの2点は解消されていない。それゆえにこれらの欠点は、後にもふれるように FRP 製品の表面よりガラス繊維の露出がないよう成形法でカバーすべきことは従来となんら変りない。

#### 4-3 成形方法についての問題点

FRP 成形においては、製品の形状、数量およびその製品に要求される物性等によって、用いられる成形方法がことなる。

まずはじめに、どの成形方法を用いるにあたって、注意しなければならないことを述べる。それは次の2点である。

(イ)ガラス繊維が製品の表面より露出しないように留意すること。さきにも述べた通り、ガラス繊維は耐摩耗性

が劣り、また風化作用を受けて老化しやすいという欠点を有する。このほかにガラス繊維の一端でも表面に露出していると、水分が毛細管現象によりガラス繊維を構成するフィラメント間を伝わって FRP 製品の肉厚内部に浸入し、ガラス繊維と樹脂との接着力を低下せしめ、ひいては製品の強度を劣化させる原因となる。ガラス繊維の露出を防ぐためには、ゲルコート層を設けるのも一方法である。

(ロ)樹脂が不完全硬化にならないよう、硬化条件に注意すること。一般に完全硬化とは、スチレンの架橋にもとづく網目構造を構成することであって理論的には1次結合という強い化学結合力で分子相互間が結びつけられていることになる。しかし実際的には強度的性質の全部が1次結合に頼っているのではなく、多分に2次結合という物理的に近い、比較的弱い結合も副次的に関与しているものである。したがって不完全硬化の場合は、完全硬化のときにくらべてこの2次結合の凍結されている割合が多いものと考えてさしつかえない。FRP 製品が不完全硬化の場合には耐候性、耐水性(耐薬品性)、耐熱性、電気絶縁性および機械的性質が低下する<sup>14)</sup>。ハンドレリアップ法などの場合に、室温が低いと、とくに不完全硬化になりやすい。このようなときには必ず加熱炉のなかで、適当な after cure を行うよう心がけねばならない。

さてつぎに、各種成形方法についてその問題点をとりあげてみよう。ただし紙面の関係もあって、各種成形方法のすべてについて記述できないので、そのうち代表的な下記のような6種類をとり上げることにする。

##### 4-3-1 ハンドレリアップ法(手積法)

この方法は何といても、手作業であるから、技術の熟練度により品質のバラツキが非常に大きい。例えば、ガラスマットのみを補強材として使用した場合、その抗張力は大体上は 1000kg/cm<sup>2</sup> から下は 500kg/cm<sup>2</sup> までにわたっている。したがってこの方法で製品を成形するときは十分品質管理に注意しなければならない。

つぎに2番目の問題点は、その成形能率である。一般に FRP の成形能率を表わす数値として [kg/MH] を用いる。これは1人1時間(M. H)で FRP 製品を何 kg 成形できるかをしめすものであって、ハンドレリアップ法の場合わが国では 5 kg/MH が限度とされている。しかしこの値は量産の場合であって、一般の少量生産の場合はさらに小さく 2~3 kg/MH 程度と考えられるから非常に人手を要する成形法といわざるを得ない。

3番目の問題点は生産量に限度があるということである。すなわち手作業であって人手を多く要するため、作業スペースおよび生産管理上の制約をうけ、大体小物で

月産2000~3000個、大物で500~600個程度が限度とみられる。

以上のような欠点を有する成形方法であるが、小量多品種の品物を成形するような場合、設備費がほとんど不要であり、また大小さまざまな大きさのものも成形可能であること、さらに補強材としてマット、ロービングクロス、平織クロス及び綾織クロス等の各種ガラス繊維の使用が可能であるから、品物に要求される機械的強度に合せて、例えば第8表の米国軍用規格（以下 MIL 規格という）で示すと、2~5級まではひろくその性能を充しうるといふ長所があって、今後も広く採用される方法と考える。

#### 4-3-2 スプレリアップ法（吹付法）

この方法はほとんどハンドレリアップ法と類似の成形法であって、ただ後者と異なる点は、樹脂とチョップドストランドの型への供給を吹付成形機で行なうことである。したがって少量生産の場合には、吹付成形時間にくらべて、吹付成形機の成形前の準備および成形後の機械の掃除時間がかかなりの比率できいてくるので、思った程成形能力が向上しない。また吹付成形機の使用経験が浅い場合には、均一厚さに吹付けることが困難であるため強度のバラツキが大きいなどの欠点を有する。

一般にハンドレリアップ法にくらべ、連続同一品種の生産に適し、またその成形能率もハンドレリアップ法の5割ないし8割増し程度と考えられる。なお機械的強度は MIL 規格で4~5級品程度である。

#### 4-3-3 プリミックス成形法

この方法は、最も欠点の少ない成形法であるが、最大の欠点は強度が出ないことである。MIL 規格では5級にも合格しない。この原因は、プリミックスのニーディング工程においてガラス繊維が破損し強度劣化がおこるためである。これが「プリミックスは FRP であるか否か」の議論がいまだに行なわれているゆえんである。

しかしながら熱可塑性樹脂における押出成形や射出成形に類似した成形機で、機械成形できるので高生産能力が期待されること。また樹脂を含浸させたガラスマットあるいはガラスクロスに1~2層ほど成型金型の表面にハンドレリし、その上にコンパウンド（原料）を供給して圧縮成形すれば、かなり機械的強度の向上したプリミックス製品が得られること。さらにユリア、フェノールなどのコンパウンドにくらべると衝撃強さ、電気的性質などがすぐれ、しかも安価であるということにより、もっぱら電気部品の成形に本方法が応用されている。

#### 4-3-4 プリフォームマッチドダイ成形法

FRP 成形法の中では本命といわれ、事実米国では車体、車両及び船体等の大型成形品に採用されて大いに成

果をあげている。これに反してわが国では、1社当り月産数万個の保安帽あるいは月産数千個の椅子等に、僅かながら採用されているにすぎない。これは次のような理由に起因していると考えられる。

(i) 高度の成形技術を要すること。そのなかでもとくに問題なのは、バスタブのように、縦横の寸法にくらべてほぼ同じ程度の深さをもつ品物の成形を行う場合には、下記のような難問を解決しなければならない。

(i) 市販の予備成形用バインダーでは、比較的低い温度で圧縮成形しなければガラス繊維の Washing（押し流れ）が生じやすい。そのため生産性が落ちる。高温で成形するためには新しいバインダーの開発が必要である。

(ii) 成形金型に塗布する外部離型剤には持続した離型性を有するものが少い。そのため成形機の稼働率がダウンする。優秀な外部離型剤の検討が必要である。

(iii) 成形温度において、精密な寸法精度を必要とするマッチドダイ成形用金型を製作出来る金型メーカーが少い。iv) 高額な設備費を償却しても、採算の合うほどの大量需要が開発されていない。

本法は以上のような問題点を有しているが、その製品の機械的強度が秀れていること（MIL 規格3~4級）、品質安定、寸法精度良好、少い作業員で大量生産可能という長所をもっているため、大量需要の開発と相まって今後大いに発展する成形法と考える。

#### 4-3-5 フィラメントワインディング法

ここ4、5年の間に急激に興味をもたれるようになった成形法である。この成形法においては、原料としてガラス繊維を引き揃えたままの状態のロービングを使用し樹脂はロービング相互間の接着剤的役割しか果たさない。そのためガラス繊維の保有する大きな引張強さがそのまま有効に働くことになり（MIL 規格1~2級）、大きな内圧を受ける容器、パイプ類の成形に最適である。しかしながら薄肉の場合には Weeping（一種のピンホールより内液の漏洩）現象が生じやすいこと、複雑な形状の製品を成形することができないこと、機械成形の割りに生産能率が低いのでマンドレル（一種の型）の償却費が大きいなどの欠点を有している。

#### 4-3-6 コールドプレス法

この成形法は、ハンドレリアップ法で成形するには生産量が多すぎるし、さりとてマッチドダイ法で成形するには、高い金型費を十分償却できるほどの生産量ではないと言った場合、すなわち全生産品数が500~3000個程度の成形品を得るのに適した一種の圧縮成形法である。

この方法では、コンクリートで裏打ちされた安価な FRP 型を用い、中温（40~60℃）、低圧（1~4kg/cm<sup>2</sup>）

表8 米国軍用規格 MILP-17549C (SHIPS)

試験の種類	方向	状態	単位	各級の要求値				
				1級品	2級品	3級品	4級品	5級品
曲げ強さ フラットワイズ	長さ方向 横方向	標準	kg/mm <sup>2</sup>	35.2	26.0	21.8	16.2	12.7
曲げ強さ フラットワイズ	長さ方向	湿潤	kg/mm <sup>2</sup>	31.6	23.2	19.0	14.1	10.5
曲げ弾性率 フラットワイズ	長さ方向 横方向	標準	kg/mm <sup>2</sup>	1758	1406	1019	773	598
曲げ弾性率 フラットワイズ	長さ方向	湿潤	kg/mm <sup>2</sup>	1617	1265	879	696	541
引張強さ	長さ方向	標準	kg/mm <sup>2</sup>	26.0	19.7	14.1	9.8	6.3
圧縮強さ エッジワイズ	長さ方向	標準	kg/mm <sup>2</sup>	23.2	17.6	14.8	12.0	11.2
圧縮強さ エッジワイズ	長さ方向	湿潤	kg/mm <sup>2</sup>	19.7	16.2	13.4	10.5	9.8
空洞率	—	—	% (最大)	1.5	2	3	4	5
樹脂含量	—	—	%	35~43	42~52	49~59	55~65	65~75

〔注〕 標準：気温23℃±1℃，相対湿度50±4%  
 湿潤：2時間煮沸してそのまま室温に冷却し，試片を水中より取り出した直後にテスト

の成形条件で製品を成形するのを特徴とする。このためマッシュダイ法にくらべると，型償却費が少く，またハンドレイアップ法にくらべると，成形時間が短かく，製品の内外両表面が平滑であり，かつ機械的強度にも優れている（MIL規格3～4級）という長所をもっている。

しかしながら本成形法は，わが国において実用化されたのはほんのここ1～2年の間であり，したがってまだ次のような点，すなわち，

(イ) FRP型の製作方法，とくにヒーターの種類とその取付方法，及びキャビティの作り方等。

(ロ) FRP型の寿命の確認。（欧米では，型の繰返し成形回数は400～3000回と言われている）

(ハ) 製品の表面には，ガラス繊維の絞りにもとづく凹凸が生じやすい。この凹凸をなくすためには，いかなる種類のガラス繊維を選択し，それをいかに予備成形（手加工）すべきか。

等については，成形メーカーの know-How として公表されていないと言うのが現状である。

最後に，以上6種類の成形方法で製造された製品の一例を第6～11図に，又その成形方法についての特長を第9表にまとめてみた。すなわち品物の形状，要求される強度，あるいは生産量などの条件によって最適な成形方法を選ぶ必要があることがわかる。

なお FRP 成形方法について，もっと詳しく知りたい方のために〔15〕～〔20〕の文献をおすすめる。

4-4 成形メーカーの問題点<sup>21)</sup>

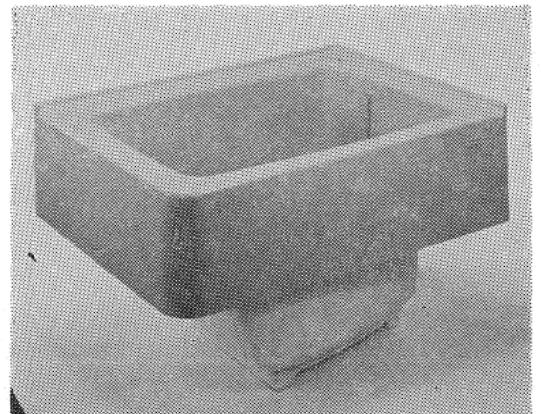


図6 ハンドレイアップ法で成形された浴槽

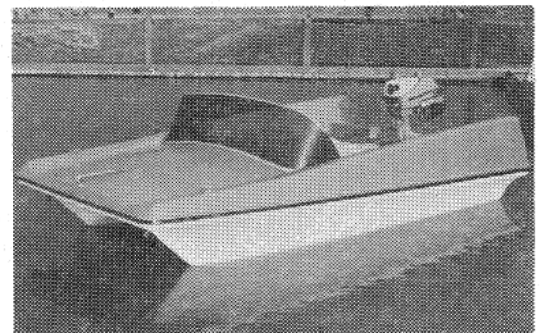


図7 スプリアップ法で成形されたモーターボート

FRP 工業の初期には，「FRP 成形に必要なものはバケツとハケだけ」というスローガンのもとに，多数の小規模な成形メーカーが FRP 成形に取り組んだ。これら

のメーカーはパイオニア的役目を果たしたが、健全な基礎をもつ FRP 工業の確立のためには弊害となった。

すなわち(イ)十分に技能の習得を行わず、従来の金属製品を無差別に FRP 製品で置き換えようとしたこと。(ロ)しかも設備費が十分でないため、温度管理の行き届いた作業場を設けることが出来なかったこと。(ハ)また器用貧乏なるわが国民性を反映して、成形能率向上に必要な冶

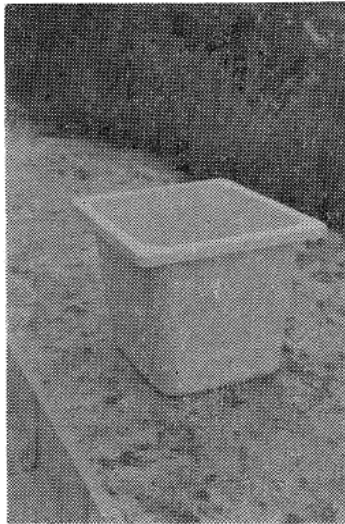


図8 プリフォームマッチドダイ法で成形された浴槽（サーモゲルコート付）

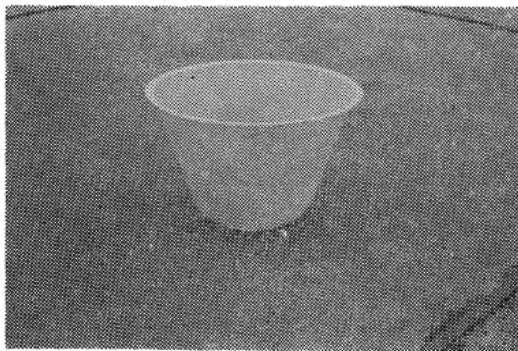


図9 プリミックス成形法で成形された桶

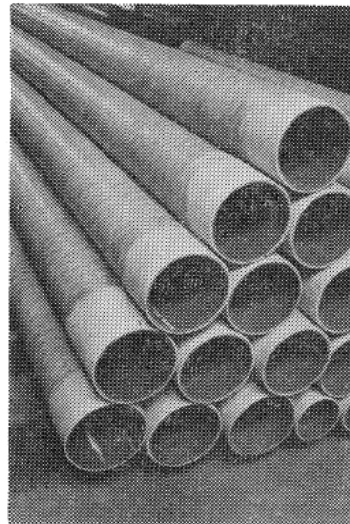


図10 フィラメントワインディング法により塩ビ管の外周にFRPを積層した複合管

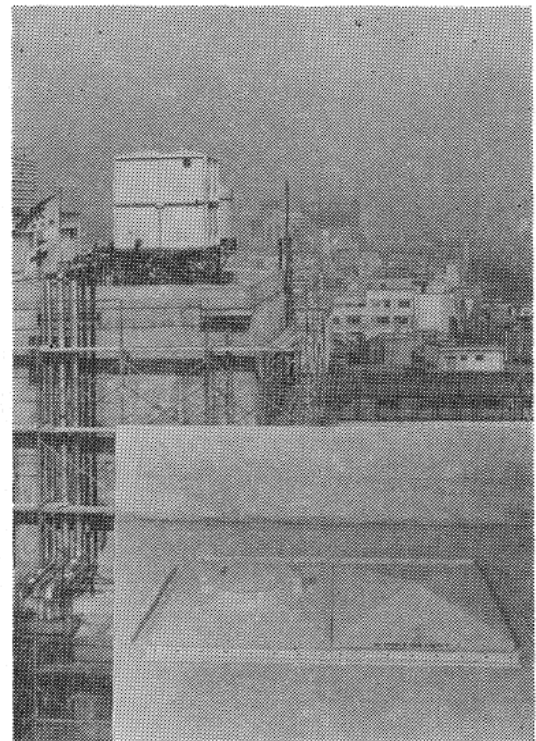


図11 コールドプレス法により成形した組立式水槽のフタ（詳細は下部拡大図）

表9 各種成形法特長

成形方法	設備費	生産費	単価	大きさ	適する形状	表面状態	物理的強度	寸法精度
ハンドレリアップ法	低	低	高	自在	単純	並 (片面凸凹)	並	劣
スプレリアップ法	中	中	中	自在 (主に大)	単純	並 (片面凹凸)	並	劣
プリフォームマッチドダイ法	高	高	低	自在 (主に中)	複雑	秀	良好	良好
プリミックス法	中	高	低	小	複雑	秀	劣	秀
フィラメントワインディング法	中	中	中	自在	単純	並	秀	並
コールドプレス法	中	中	中	自在	普通	良好	良好	良好



工具の開発をおさなりにしていたことなどである。

一方原材料メーカーは、長期クレジットや技術サービスを提供して小規模な成形メーカーの増殖に努めた。このため FRP 製品の品質改善には貢献したが、反面原材料メーカーに依存性の強い、自立しえない企業を作り出す傾向を生じた。

以上のような初期の企業形態は現在にもまだ尾を引いており、依然として小規模メーカーが多いこと、熟練労働力とくに監督者が不足していること、技術的データが十分蓄積されていないといった欠点が目立つ。一般的には、まだ成形メーカーは、企業として幼稚な段階にあるといっても過言でないと思う。

## 5. 将来の需要面について

わが国における FRP 工業は、以上述べてきたような種々の問題点を包含しつつ、なおかつその需要は毎年30～40%の伸びを示している。これは他の合成樹脂材料にくらべて、FRP が秀れた機械的性質及び耐熱性を有するためと考えられる。ここでは本稿末尾の体裁を整える意味で、FRP の特長を生かした将来の需要分野について少しふれることにする<sup>22)</sup>。

### 5-1 建材関係

FRP の最大のポテンシャルは建築産業にあると思われる。しかるに現状では波板、平板以外に大した進出をみせていない。これはつぎの2点が原因と考えられる。(イ)建築法規では FRP を全面的に採用できるようになっていない。(ロ)建築技術者の FRP にたいする認識が少ない。このため FRP の技術データを整備して啓蒙する必要があると考えられる。

一般にこの分野は、建築のプレハブ化のすう勢に関連して将来急激に伸びることが予想される。

### 5-2 輸送関係

最大の市場である自動車産業への FRP の進出は、現状でははかばかしくない。これは主に FRP の量産性に関する問題があった。しかしマッチダイ成形技術の輸入あるいはプリプレグマットの開発などにより、自動車産業への進出の気運が漸次熟しつつあるように考えられる。

### 5-3 鉱工業関係

わが国におけるフィラメントワインディング法はようやく普及の段階に入ってきたが、この成形法の発展とともにパイプ、タンク類の機械成形が可能となった。しかも従来の金属製パイプ・タンク類にくらべて、FRP 製のそれらは耐食性(耐薬品性)にも秀れているということで今後の発展が大いに期待されている。

## 6. おわりに

10年近く成形にたずさわった一員として、筆者自身が客観的に FRP 成形をみつめ、今後の FRP 成形研究の進路を誤らないようにすることを念頭におき、主として FRP 工業の問題点に重点をおいて書いたつもりである。しかしどうも通り一遍の記述だけに紙面を費やしてしまったようである。この点深くお詫びして本稿を終りたい。

## 引用文献

- 1) Modern Plastics 各年1月号より算出
- 2) Modern Plastics, 46, [1], p.34 (1969)
- 3) Modern Plastics 41, [5], (1964)
- 4) 強化プラスチック13, [5], p.281, (1967) より算出
- 5) 合成樹脂工業協会資料
- 6) 強化プラスチック15, [2], p.80, (1969)
- 7) Reinforced Plastics, 7, [11], p.341, (1963) および Plastics Age, Aug., p.33, 1966
- 8) Plastics Age Encyclopedia p.149, (1969)
- 9) 日東紡テクニカルデータ, No.31
- 10) 「強化プラスチック」産業図書版 p.102
- 11) 日立化成, 「ポリエステル樹脂」カタログ, [J]-(II)-15
- 12) 強化プラスチック2, [3], (1956)
- 13) 工業材料, 14, [5], p.26, (1966)
- 14) British Plastics, 28, [1], P. 23, (1955); 強化プラスチック2, [3], p.17, (1956)
- 15) 強化プラスチック, 10, [1], p.36, (1964)
- 16) 強化プラスチック, 10, [2], p.51, (1964)
- 17) 強化プラスチック, 10, [3], p.134, (1964)
- 18) 強化プラスチック, 10, [4], p.168, (1964)
- 19) 強化プラスチック, 10, [5], p.223, (1964)
- 20) 強化プラスチック, 10, [6], p.296, (1964)
- 21), 22) 強化プラスチック, 13, [5], p.18, (1967)

## 参考とした文献

- 1) 嶋田吉英, 仁木正夫; 「ポリエステル樹脂」日刊工業新聞社 (1962)
- 2) 「強化プラスチック」強化プラスチック協会編 (1963)