

特集 もののつくり方教えます

繊維強化プラスチック (FRP) 管のつくり方について

【商品名：フジパイプ7000シリーズ、フジFWパイプ】

* 渡邊 光章

1. はじめに

富士化工(株)は繊維強化プラスチック (FRP / Fiber Reinforced Plastics) 管を製造する会社として、1957年(昭和32年)に設立された。耐食性、耐熱性を特長とする「フジパイプ7000シリーズ」ならびに耐圧性、耐食性を特長とする「フジFWパイプ」を製造販売している⁽¹⁾。

FRP管は、その特長から化学プラントや電力、製鉄、温泉、製紙、海洋等の流体を搬送する配管材として、また、排ガス処理等の環境保全装置の腐食性気体を搬送するダクト、煙突内筒等のプラント用配管材として使用されている。

2. FRP管の製法⁽²⁾

2.1 FRP管の構造

FRP管は、ガラス繊維等の繊維強化材に、耐食性に優れた不飽和ポリエステル樹脂、ビニルエステル樹脂等の熱硬化性樹脂を含浸し、成形されている。FRP管の構造は、耐食層と強化層より構成される。流体を搬送する場合の一般的な構造は、管内面側の腐食環境面に耐食性に優れた熱硬化性樹脂と繊維強化材を用いた耐食層と、外側に熱硬化性樹脂と異方性の繊維強化材等を用いた強化層の2層の構造になっている。(図1)

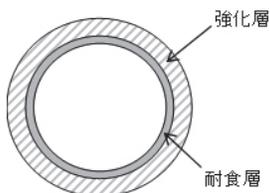


図1 FRP管の構造 (断面)

2.2 製法

FRP管の成形法は歴史が古く、ハンドレイアップ法 (HLU法)、フィラメントワインディング法 (FW法)、テーブラッピング法、遠心成形法、ドロストフォルム式連続成形法など多岐に渡るが、現在はHLU法、FW法、それらの併用方式が主となっている。製法の一例として図2にFW法の内容を示す。FW法は、主に前述した「強化層」に用いられ、ガラス長繊維に樹脂槽で樹脂を含浸させ、マンドレルに巻き付けて成形するものである。成形後に硬化炉等で加熱し硬化させ、マンドレルを引き抜いてパイプ状の製品が完成する。

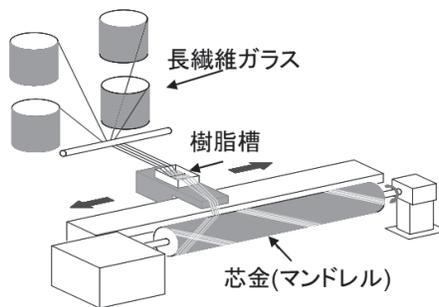


図2 FW法の概念図

2.3 樹脂

樹脂は主に、不飽和ポリエステル (UP)、ビニルエステル (VE)、エポキシ (EP)、フラン、フェノールが耐食層と強化層に分けて使用されるが、特に、耐食FRP用途ではその特性から耐食層にビスフェノール系VE、ノボラック系VEが多く使用されている。表1に各樹脂の特長を示す。

*富士化工(株)

表1 樹脂種類と特長

樹脂種類		耐薬品性 (○使用可、×使用不可)	耐熱性	成形性
不飽和ポリエステル (UP)	イソフタル酸系	○：非酸化性酸、塩類、石油 ×：アルカリ、強酸、溶剤	○	○
	ビスフェノール系	○：酸、アルカリ ×：溶剤		
ビニルエステル (VE)	ビスフェノール系	○：強酸、強アルカリ ×：溶剤	○	○
	ノボラック系	○：強酸、溶剤 ×：アルカリ		
エポキシ		○：酸、アルカリ、溶剤 ×：酸化性酸	○	△
フラン		○：酸、アルカリ、溶剤 ×：酸化性酸	○	△
フェノール		○：酸、溶剤 ×：アルカリ、酸化性酸	◎	△

2.4 繊維強化材

繊維強化材には、ガラス繊維、炭素繊維および有機繊維があるが、主にガラス繊維が使用されている。その特性により耐食層や強化層に使い分けられる。ガラス繊維が腐食を受けるフッ酸等の薬液環境では、耐食層表面に有機繊維や炭素繊維が使用される。繊維はロービング、クロスマット、チョップドストランドなどの形態で使用されることが多い。

3. FRP管の特長⁽¹⁾

FRP管は、軽量で比強度が高く、耐薬品性・耐候

性に優れ、電気絶縁性に優れているので電食が生じない。また、熱膨張係数が小さく、断熱性に優れ、熱可塑性プラスチックと比較して耐熱性が高く、温度依存性が少ないので低温から高温まで使用できる。金属管と比較して、軽量で取扱いが容易であり、簡単に補修ができるが、耐火性、耐磨耗性、耐衝撃性には劣る。

3.1 FRP管の諸特性

フジパイプ7000(図3)は、繊維強化材に短繊維を用いたFRP管で、高耐食性を特長とした製品である。フジFWパイプ(図4)は、強化層に長繊維を用いたFRP



図3 フジパイプ7000



図4 フジFWパイプ

表2 フジパイプ7000、フジFWパイプの諸特性

項目	規格	単位	フジパイプ7000	フジFWパイプ
呼び径	JISK7013	mm	25~600	25~600
成形法	—	-	積層成形法	FW法
繊維強化材	—	-	ガラス繊維	ガラス繊維
樹脂	JISK6919	-	UP、VE	UP、VE
樹脂含有率	JISK7052	%	60~70	20~30
比重	JISK7112	-	1.3~1.5	1.6~1.9
使用圧力	—	MPa	H管：0.78 L管：0.39~0.49	H管：0.98 L管：0.49
周方向引張強さ	JISK7013	N/mm ²	60~66	114~217
引張弾性率	JISK7013	N/mm ²	7600	9400~13500
曲げ強さ	JISK7017	N/mm ²	98	80~100
曲げ弾性率	JISK7017	N/mm ²	6300~7300	8200~10800
シャルピー衝撃強さ	JISK7111	J/cm ²	3.9~4.9	14.7
パーコル硬さ	JISK7060	HBI-A	30~40	30~40
ポアソン比	JISK7164	-	0.3~0.35	0.3
熱膨張係数	—	/°C	20~25×10 ⁻⁶	19~22×10 ⁻⁶
熱伝導率	—	W/mK	0.2	0.23
比熱	—	J/g°C	1.38	0.92
体積固有抵抗	JISK6911	Ω-cm	10 ¹³ ~10 ¹⁴	5×10 ¹³

管で、耐圧性を高めた製品である。各製品の諸特性を表2に示す。

3.2 FRP管の耐薬品性

FRP管は、表1に示したように、構成する樹脂種類や製法によって使用できる薬品の濃度や使用温度が変わる。フジパイプ7000シリーズにおいては、酸とアルカリにはフジパイプ7000、溶剤と酸にはフジパイプ7300が選択可能である。一例として、フジパイプ(7000、7300)とフジFWパイプの耐薬品性の一部を表3に示す。

3.3 FRP管と継手の接合

一般的に、FRP管と継手の接合は接着で行う。接着部の構造は、基本的にテーパ差込みソケット(重ね合わせ)であり、管両端のオステーパと継手のメステーパの組合せにより接着接合を行う。

接着での接合は永久接合であるが、管端部や継手にフランジを接着し、配管の取外しを可能とするフランジ接合もラインナップする。図5にテーパ差込みソケット接合の例を、図6にフランジ接合の例を示す。

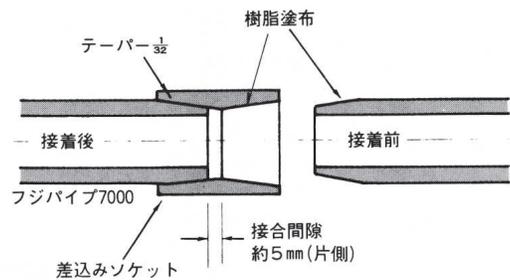


図5 テーパ差込みソケット接合の例

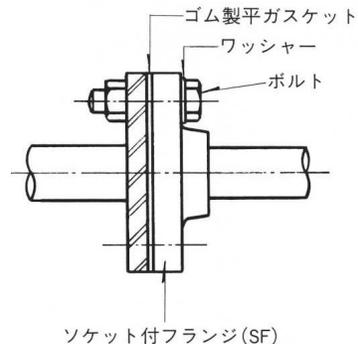


図6 フランジ接合の例

繊維強化プラスチック（FRP）管のつくり方について…(4)

表3 FRP管の耐薬品性例

薬品 (%)	最高使用温度(℃)			薬品 (%)	最高使用温度(℃)		
	フジパイプ 7000	フジパイプ 7300	フジFW パイプ		フジパイプ 7000	フジパイプ 7300	フジFW パイプ
硫酸5	100	100	90	炭酸ソーダ30	80	60	90
硫酸10	90	90	90	次亜塩素酸ソーダ	使用不可	使用不可	使用不可
硫酸30	80	80	80	過酸化水素10	60	60	50
硫酸50	60	60	60	過酸化水素30	40	40	50
硝酸5	80	80	60	硫化ソーダ	90	90	90
硝酸10	60	80	60	塩素(乾)	80	90	90
硝酸20	40	40	40	塩素(湿)	70	90	60
硝酸conc	使用不可	使用不可	使用不可	臭素(乾)	30	30	30
塩酸5	100	100	90	硫化水素(乾)	80	80	80
塩酸10	90	90	60	硫化水素(湿)	80	80	80
塩酸20	90	90	60	亜硫酸ガス(乾)	90	90	90
塩酸35	50	70	50	亜硫酸ガス(湿)	90	90	70
燐酸conc	100	100	60	グリセリン	90	90	90
酢酸25	90	100	90	ホルマリン	80	80	70
酢酸50	70	80	70	メチルアルコール	使用不可	40	使用不可
クロム酸10	50	60	50	エチルアルコール	40	50	40
フッ酸5	使用不可	60	使用不可	イソプロピルアルコール	50	50	50
フッ酸10	使用不可	50	使用不可	エチルエーテル	使用不可	使用不可	使用不可
苛性ソーダ5	70	使用不可	70	ガソリン	60	60	60
苛性ソーダ10	60	使用不可	60	ナフサ	80	80	80
苛性ソーダ20	60	使用不可	40	ベンゼン	使用不可	40	使用不可
苛性ソーダ50	60	使用不可	40	四塩化炭素	使用不可	30	使用不可
アンモニア水10	60	60	60	クロロホルム	使用不可	使用不可	使用不可
アンモニア水25	50	40	40	トリクロロエチレン	使用不可	使用不可	使用不可
アンモニア水conc	30	30	30	二酸化エチレン	使用不可	40	使用不可
食塩水	100	100	90	フェノール10	使用不可	40	使用不可
海水	100	100	90	フェノール100	使用不可	使用不可	使用不可
硫酸アンモン40	100	100	90	アセトン10	使用不可	80	使用不可
塩酸アンモン40	100	100	90	アセトン100	使用不可	使用不可	使用不可
塩化カルシウム40	100	100	90	メチルエチルケトン	使用不可	40	使用不可

表4 FRP管の国内規格

日本産業規格	
JIS K 7013	繊維強化プラスチック管
JIS K 7014	繊維強化プラスチック管継手
JIS K 7030	ガラス繊維強化熱硬化性プラスチック（GRP）管及び継手
一般社団法人 強化プラスチック協会規格	
FRPS C-001	接触圧成形による強化プラスチック製耐食機器に関する製品基準
FRPS C-003	強化プラスチック製耐食機器に関する性能検査指針
FRPS P-001	FW強化熱硬化性樹脂圧力管
FRPS P-002	FW強化熱硬化性樹脂圧力管用継手と接合方法

4. FRP管の国内規格⁽³⁾⁽⁴⁾

FRP管の国内規格は、日本産業規格および強化プラスチック協会規格がある。主な規格を表4に示す。ここでは、主な規格であるJISK7013、JISK7014の概略を説明する。

(1) 適用範囲

適用範囲は、流体搬送に使用するFRP管、継手の最高使用圧力は、液体の場合で2MPa、気体の場合で1MPaとされている。

また、参考として「管は、その材料の積層構成によって、周方向内圧強さや軸方向引張強さなどの機械的特性を大きく変える事が可能であり、この規格に示す管以外にも各種の特性を持った管を製作する事が出来る。用途に応じた特別の要求がある場合には、受渡当事者間で検討して差し支えない。」としている。

解説では、「繊維強化プラスチック管の用途には、配管用、構造物、電気絶縁用などがあり、それぞれの用途によって要求性能が相違する。したがって、管の仕様も異なることから、管としての包括的な規格化は難しい。この規格では、主として耐食貯槽やタンクの運用に不可欠な接続配管に関し、流体を輸送するのに使用される管について規定する。」としている。

(2) 規定項目

主な項目は、管・継手の種類、性能、寸法、外観、材料、試験方法で基本的な基準が規定されている。

5. FRP管の使用例

FRP管は、ガラス繊維等の繊維強化材に、耐食性に優れた不飽和ポリエステル樹脂、ビニルエステル樹脂を含浸し成形される。これにより腐食環境の暴露に対し優れた耐食性を有するため、酸・アルカリを使用する化学プラント配管、温泉配管、海水配管などに多く用いられている。ここでは使用実績を含め、FRP管の用途を紹介する。

5.1 化学プラント

化学プラントでは、排ガス洗浄装置の洗浄水配管、薬液配管、冷却水配管、ダクト等で使用されている(図7、図8)。サイズは25A～600Aの配管が主に使用されている。

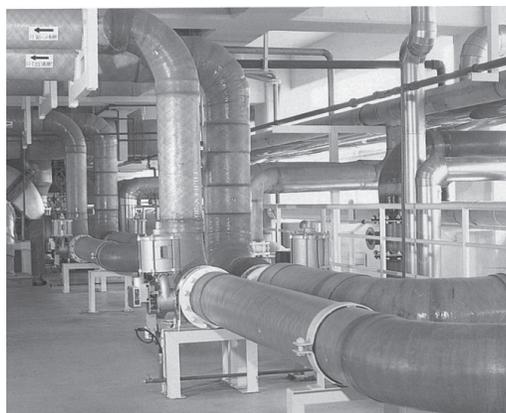


図7 冷却水配管

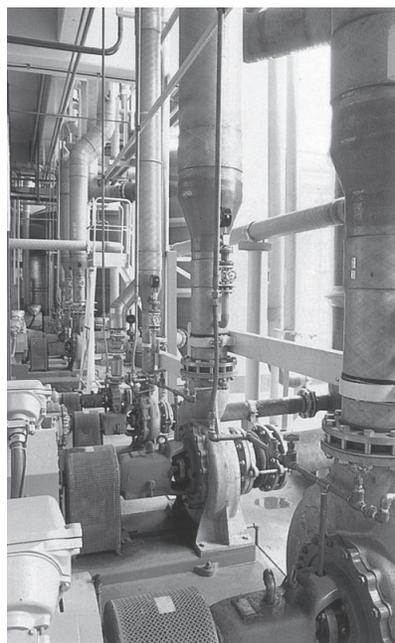


図8 ポンプ廻り配管

5.2 電力

火力、原子力発電所における蒸気タービン発電機の蒸気を冷却する海水取水配管(図9)や、石炭火力発電の脱硫排水配管、LNG火力発電の気化器海水配管などで多く使用されている。特に近年では、アジア地域での電力需要の増加によるLNG火力発電所の建設に伴い、フジFWパイプの需要が増加している。サイズは25A～600Aの配管が主に使用されている。

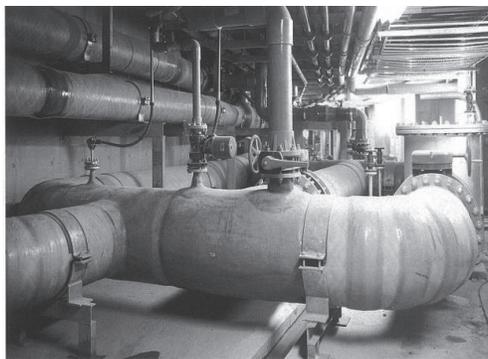


図9 海水取水配管

5.3 製鉄

熱間圧延工程で鉄の表面に生成される酸化被膜を除去する酸洗設備では、塩酸による酸洗いが行われる。酸洗速度を高めるため高温の塩酸を使用することから、塩酸循環配管と塩酸ヒュームダクトは強い腐食環境になるため、FRP管が使用されている。また、酸洗後の塩化鉄水溶液を回収して塩酸に再生する塩酸回収設備の配管や廃液配管にもFRP管が多く使用されている。前述の通り酸洗設備の塩酸は強酸で温度が高く、強い腐食環境で使用されるため、通常のFW管ではなく、腐食性能や耐熱性を高めたフジパイプが使用されている。サイズは50A～300Aの配管が主に使用されている。

5.4 温泉

温泉地のFRP管は、主に源泉井戸内に設置される揚湯管、源泉から温泉利用地までの引湯管(図10)、温泉利用地内の各施設への配湯管に使用されている。温泉地により泉質や温度が異なる為、必要に応じて特殊な樹脂や繊維強化材を使用している。

引湯管、配湯管としてのフジパイプは1958年ごろから主要温泉地を初め全国各地で使用されてきた。昭和後期から平成にかけ、観光、地域振興のため各地方自治体による源泉開発が進み、湧出する温泉利用のための配湯設備が多数建設されてきた。最近の動向では、全国の主要温泉地に納入された温泉配管は最長で50年が経過し、温泉管の運用状況にもよるが、およそ30～40年をめぐりに各温泉地で更新計画が進められようとしている。

近年では、新しい温泉利用として温泉熱発電や温泉廃湯熱利用が進められており、温泉地での発電や



図10 温泉引湯配管

廃熱利用でのFRP管の適用が期待されている。

6. FRP管の劣化診断⁽⁵⁾

社団法人強化プラスチック協会は2003年12月に発生した35%塩酸タンク屋根の陥没事故を受け、「FRP耐食タンクの取扱いご周知方徹底の御願いについて」と題し2004年2月および「統報」として同年4月に通達を出している。

また、「強化プラスチック製耐食機器に関する性能検査指針(FRPS C003)」で、損傷や劣化程度を等級1～等級4に区分し、等級3～等級4では補修、交換などの指針を設けている。

こうした背景からFRP管のユーザより更新の相談や劣化診断の依頼が増加している。

6.1 FRP材料の劣化（腐食）形態⁽⁶⁾

FRP管に使用される熱硬化性樹脂の酸・アルカリ水溶液環境下における腐食は、均一腐食と呼ばれるような全面で均一の減肉あるいは均一厚さの変色した劣化層の形成を伴ったものが一般的である。こういった均一腐食は、図11に示す3形態に大別される。

表面から分解反応生成物が溶出し、一様な減肉のような腐食形態を「表面反応型」と呼び、硝酸などはこの形態が多い。また、腐食生成物が不溶のまま樹脂表面に残り、通常は色や質感の異なる変色層として認められるような腐食形態を「腐食層形成型」と呼び、アルカリ水溶液環境下ではこのような腐食形態となる。一方、はじめのうちは環境液の浸入は認められるものの、いわゆる物理的劣化のみで、ある程度時間が経過した後に強度の低下を示すことがある。これを「全面浸入型」と呼び、純水や硫酸などがこの腐食形態である場合が多い。

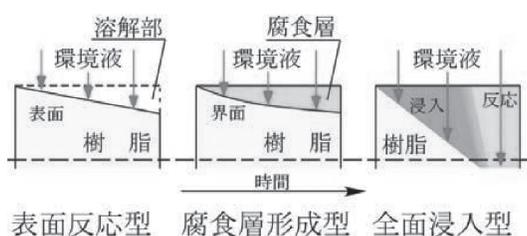


図11 樹脂の均一腐食3形態の模式図

6.2 劣化診断の概要

FRP管は使用する流体の種類、温度、期間等の環境により多種多様の腐食形態をとる為、FRP管の保守は、定期的な数種類の診断を行い総合的に判断される。

劣化診断は、主にFRP管の目視検査と硬度測定であるが、必要に応じ配管から材料を切り出し、物性値の低下率から劣化の進行度合いを確認する事も実施されている。また、最近では非破壊検査方法として超音波探傷試験や赤外線カメラによる計測など新しい検査方法が検討されている。現在、一般的に行

表5 FRP管の劣化診断の概略

場所	項目	方法
現地	外観観察	目視で管内外面を検査し、FRPSC003に基づき損傷の形態を損傷等級で表す。
	バーコル硬さ	バーコル硬さ測定器を使用しFRP表面の硬さを測定
試験場	物性試験	材料の一部を切り出し、材料の残存強度を測定
	断面観察	材料の一部を切り出し、断面観察により変色、亀裂深さを確認

われているFRP管に関する劣化診断の概略を表5に示す。

6.3 劣化診断の項目

(1) 外観観察

外観観察は、FRP管を目視で観察し、FRPSC003の損傷等級（等級1～等級4）で判定される。より正確な観察を行う為には、タンクや配管の接界面の観察が必要になる。損傷等級について次に示す。

等級1：引き続き使用しても差し支えない。

等級2：引き続き使用しても差し支えないが、1年（又は半年）後に劣化の進行度合いを再検査する。

等級3：損傷部を部分補修後、再使用する。

等級4：使用を停止し、全面的補修又は取り替えを行う。

(2) バーコル硬さ

バーコル硬さは、FRP管の表面に小さな針を押し込むことにより、FRP表面の硬さを測定する方法である(図12)。硬さが残存していれば、針はFRP表面に差し込まれず測定値は高い値を示す。劣化などにより固さが減少していれば、針はFRP表面に深く差し込まれ測定値は小さい値を示す。



図12 バーコル硬さ計

(3) 物性試験

劣化診断での物性試験は、FRP管の初期値に対する残存強度を計測する試験である。一般的な試験方法は、FRP管から切出した試験片(図13)による曲げ試験である(図14)。

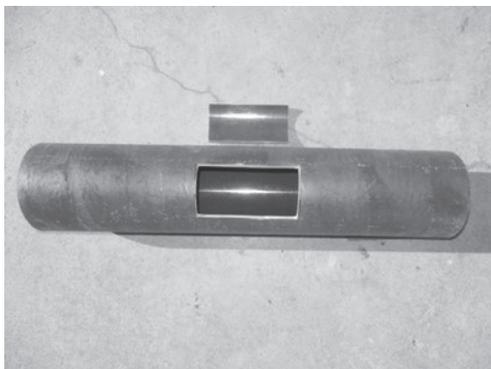


図13 試験片の切出し

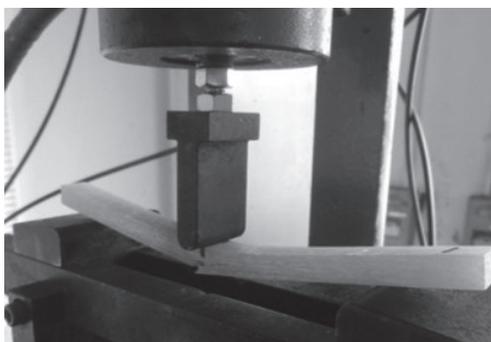


図14 曲げ試験の状況

(4) 断面観察

FRP管は、厚さが確保されていても、薬品等が浸透し変色が発生している可能性がある。また、FRP管に発生する膨れや微細な亀裂は現地観察では発見することが困難である。観察したい部位を切り出し、断面観察によって変色の有無や膨れ、亀裂の深さを



図15 試験片の断面（上側：液浸透）

詳細に観察する(図15)。劣化診断は、これらを総合的に評価して判断される。

7. おわりに

FRP管は、日本国内に導入されてから60年以上経過し、市場は成熟期を迎えている。その間、重厚長大の高度経済成長を支え、化学、電力、製鉄、製紙等の産業の大いなる発展に寄与してきた。今後は更新時期に近づいたFRP配管の劣化診断の相談、および更新需要の拡大が予測される。また、成長が大きいアジア市場でのエネルギー開発、プラント建設の増加に伴い、世界のFRP管の需要は更に拡大するものと期待される。日本のFRP管が世界で活躍するため、更なる低コスト化、品質の高度化が進むことを期待する。また、本稿がFRP管の特長や使用される環境等をご理解いただき、採用検討していただくためのご参考になれば幸甚である。

〈参考文献〉

- (1)富士化工カタログ フジパイプ7000シリーズ
富士化工カタログ フジFWパイプ
- (2)強化プラスチック協会：FRP60年の歩み
- (3)JISK7013 繊維強化プラスチック管
- (4)JISK7014 繊維強化プラスチック管継手
- (5)FRPS-C-003 強化プラスチック製耐食機器に関する性能検査指針
- (6)久保内：材料と環境Vol.51-12 P542(2002)

【筆者紹介】

渡邊 光章
富士化工株式会社 技術本部 開発部長
〒416-0937 静岡県富士市前田90番地
TEL：0545-61-1372