解説シリーズ

こんなところに複合材料：歴史編－V. FRP 製タンクの開発史

西 雄 二 郎*

1. はじめに

すべての生き物が必要とする「水」…私たちの毎日の生活においても、あるいは万一の災害発生の時も、この「水」なくしての生活は成り立たない。

我々はこのように、大切な水を安全に確保し、衛生的な水として供給する FRP 製タンクを世の中に送り出し既に 40 年が経過している。

ここでは、わが国における FRP 製タンクの歴史の中で、諸先輩が繰り広げてきた開発経緯の一端を紹介することで、進化し続ける FRP 製タンクの今後の開発の参考となれば幸いである。

2. FRP 製タンクの歩み

(1) タンクの誕生と成長

タンク（水槽）という機器の誕生は、1888 年（明治 21 年）に帝国大学に設置された煉瓦作りの高置水槽に始まる。それ以来、1960 年（昭和 35 年）前半までは高置水槽の大半が鋼板製、受水槽は建築躯体を利用したコンクリート製であった。

FRP 製タンクは、1962 年（昭和 37 年）にハンドレイアップ法（手積み成形法）による円筒形状の水槽が開発され、従来の鋼板製タンクが経年により錆びやすく腐食するという弱点を、見事にクリアーした画期的な機器商品としてデビューした。

1968 年（昭和 43 年）になると、FRP 製タンクが日本住宅公団（現在の都市基盤整備公団）の集合住宅用高置水槽として採用され、それ以降、高層住宅や学校、公共施設等には必ずと言っていいほど、FRP 製タンクが建屋の屋上に設置されている。

ちなみに、FRP 製タンクの出荷台数を、社団法人強化プラスチック協会がまとめた統計資料から引用すると表

1 の通りとなる。

このように、FRP 製タンクは年々出荷台数が増えて 1970 年以降 30 年間の累計でも 110 万台を超える出荷実績となっている。

現在、1970 年代より前に納入された初期の FRP 製タンクは新規品への交換時期に入っているが、1980 年代以降品はいまなお現役として十分にその機能を発揮している。

(2) タンクを取り巻く環境の変化

1976 年（昭和 51 年）に施行された建設省告示第 1597 号（受水槽以下設備の構造基準）により、FRP 製タンクは受水槽分野へその用途を拡大していった。

従来の建築躯体を利用したコンクリート製の受水槽に代わり、狭い地下室などに設置される場合でも現場で簡単に組立が出来、かつ工期も短いという施工面の有利性が FRP 製のボルト組立式タンクを主流にする最大の要因となった。その後、FRP 製タンクはその需要と多岐にわたる市場ニーズに対応して普及してきたため、1979 年（昭和 54 年）7 月、財団法人ベターリビングの優良住宅部品の認定を受け、優れた給水システムとして確固たる地位を築き現在に至っている。

1978 年（昭和 53 年）6 月の宮城県沖地震を契機に、地震災害への関心が急速に高まる中で、1980 年（昭和 55 年）7 月の建築基準法施行令の一部改正、1982 年（昭和 57 年）の建設省告示第 1674 号（同第 1597 号の一部改正）により、給水設備の衛生性の確保と定期清掃作業やメンテナンスの容易さを備えたタンクが求められるようになった。

1995 年（平成 7 年）1 月に発生した阪神・淡路大震災により、タンクはライフラインの中でもとりわけ大切な「水」を確保する重要機器として再認識されるに至った。この大震災の発生直後から何十日にも及ぶ断水のため、あらためてタンクの長所である「貯水機能」が注目されることになった。これにより、設計基準の見直しが行われ、FRP 水槽耐震設計基準を従来より 1 ランクアップ

* Yujiro Nishi: 三菱樹脂(株)平塚工場製造第 1 部部长 (254-8614 平塚市西真土 2-1-35)

図1 FRP製タンクの形状

表1 FRP製タンクの出荷台数
(単位: ×1,000 台)

期 間	1970～1979	1980～1989	1990～1999
出荷台数	186	433	500

し, またスロッシング*1 対応を講じることで, さらに安心できる品質が確保されることになった。

3. タンク構造の移り変わり

(1) 製法・形状について

FRP製タンクは, 形状が比較的自由に造れることから円筒形や角形のほか球形のものがある(図1)。構造的には, ハンドレイアップで製作する一体型と, 機械でプレス成形されたパネルどうしをボルトとゴムパッキンで組み立てるボルト組立型に大別される。

FRP製タンクの開発当初は, ハンドレイアップによる一体型の円筒形や角形が主流であり, 当時のタンクの容量は, 円筒形で1～10 m³, 角形は最大30 m³までを標準的容量とし, 双方ともタンク高さ2 mまでのものが工場完成品として市場に出回った。その後, 受水槽への用途拡大という潮流に乗り, 一体型, ボルト組立型とも現地施工方式による大容量タンクが数多く納入されている。

現地施工方式の場合, 一体型は現場の作業環境に制約(屋外雨天でのFRP積層作業は不可, 積層時のスチレン臭発生等)があり, ボルト組立型に比べると作業面やや難点がある。しかし, 一体型タンクは内・外面とも

図2 一体型タンク (円筒形)

図3 一体型タンク (角形)

*1 スロッシング: 地震による水槽の応答には地震の加速度に対して応答する加速度応答と, 変位のやや長い周期成分に対して内容水が共振的に応答する変位応答がある。スロッシングとは, 後者の現象をいう。従って, 地震の加速度が小さくても, 変位のやや長い周期成分と水槽のスロッシング周期が近接すると, 水槽の天井を破損する水圧を発生させることがある。

FRP層に覆われており, とくに外観はゲルコート面独特の光沢の良さから, いまなお根強い人気を保っている(図2～4)。

一体型タンクは, 単板構造とサンドイッチ構造の2種類が用意されており, 形状も円筒形や角形など豊富な品揃えが出来, とくにサンドイッチ構造は軽くて強いだけ

図 4 ボルト組立型タンク

でなく、保温性にも優れた材料で構成されている。サンドイッチ構造の芯材は、開発当初は塩化ビニールの発泡体を使用したものであったが、コスト高という難点があり、1965 年（昭和 40 年）頃から硬質ウレタン発泡体に代わり現在に至っている。

一方、輸送時や作業環境に制限がなく、さらには容量や設置条件（例えば、階段状変形タンクなど）にも柔軟に対応できることから、ボルト組立型は一体型より需要が多い。ボルト組立型にも単板構造、複合板構造の 2 種類があるが、タンク形状は角形のみである。単板構造は文字通りプレス成形された FRP 板のみで構成されているが、複合板構造は FRP 板の外表面に硬質ウレタンやスチロールなどの合成樹脂発泡体成形品を接着し、最外

表面を耐候性化粧板でカバーした断面構造となっている（図 5）。

1980 年代半ば以降、フロンガスによる大気圏オゾン層破壊現象が問題となってきたため、従来のフロンによる発泡材料に代わって、現在の発泡材料には水発泡ウレタン材やスチレン系発泡体が積極的に採用されており、地球環境の保護にも注力している。

ボルト組立型タンクの需要を大きく伸ばすキッカケは、前述の通り、1976 年（昭和 51 年）に施行された建設省告示第 1597 号（受水槽以下設備の構造基準）による受水槽への用途拡大であり、狭い地下室でも材料の現場搬入が容易なこと、組立工期も短くて済むという施工面の有利性がその主たる要因と考えられる。

パネル 1 枚あたりの大きさも変化している。当初、パネル 1 枚の大きさは $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、 $0.5\text{m} \times 1\text{m}$ を基本モジュールとしたタンクが構成されていたが、1982 年（昭和 57 年）の建設省告示第 1674 号（同第 1597 号の一部改正）による給水設備の衛生性確保が求められるようになると、槽内清掃作業が容易なこと、清掃後の洗浄水がスムーズに排水できることなどの衛生機能を備えた水槽を提供する必要が生じた。そこで、タンク内部の補強構造を見直すことで、従来のパネルサイズを一回り大きくした継ぎ目の少ない清掃作業の容易なタンクが開発された。

図 5 FRP 製タンクのパネル断面図

図 6 FRP 製タンクの補強構造

従来、高さ3mのタンクでは、1m×1mのパネルを3段重ねて対応していたが、1m×2mの大判パネルが開発されたことでタンク内部の補強構造が大幅に変わり例えば、対面するパネルの交点部どうしをタイロッドや斜めブレスで締結する内部補強型から、タンクの外側に底部から天井にかけてパネルのフランジ部分に補強材を添わた外補強型へと進化している(図6)。

同時に、排水専用パネルも開発され、これらの組合せにより、槽内の清掃作業が一段と容易になり、衛生的な水の供給が可能となった。また、3mを超えるタンク(例えば、3.5mや4m高さのタンク)でも外補強型が増えてきており、タンク内部の底面より上方2m高さまでは自由に動き回れる空間の確保が要件の一つとして挙げられている。

(2) 耐震性について

建設省(現、国土交通省)では、1978年(昭和53年)6月の宮城県沖地震発生以降、1980年(昭和55年)7月に建築基準法施行令を一部改正し、それを受けて建物の屋上に設置される高置水槽等の安全性に関する基準の見直しを行い、構造計算の方法に関する基準および各部構造に関する基準の整備強化を定めている[建設省告示1101号:1981(S56).6.1]。

一方、水槽業界の対応としては、1978年(昭和53年)12月に、学識経験者を中心とした「FRP水槽耐震設計基準委員会」が発足し、1980年(昭和55年)1月に同委員会より「FRP水槽耐震設計基準(案)」が発表された。これを受けて、1981年(昭和56年)5月の社団法人強化プラスチック協会による「FRP水槽構造設計計算法」および、1982年(昭和57年)2月の日本建築センターによる「建築設備の耐震設計・施工基準」の発刊により、FRPタンクに対する耐震性要求が強化され、耐震グレードが従来の水平震度 $K_h=0.3$ から、地階および1階で $K_h=2/3$ 、建物の最上階では $K_h=1.5$ を設計用標準震度とするよう定められた。

表2 局部震度法による建築設備機器の設計用標準震度

	建築設備機器の耐震クラス		
	耐震 クラス S	耐震 クラス A	耐震 クラス B
上層階、屋上 および塔屋	2.0	1.5	1.0
中間階	1.5	1.0	0.6
地階および1階	1.5	1.0	0.6

三菱樹脂では、これより前の1977年(昭和52年)頃から、水槽メーカーとして地震に強いタンクの研究開発に着手し、3回にわたる耐震実験の検証を踏まえ、1981年(昭和56年)に耐震タンクを発売した。その後、1986年(昭和61年)には、外補強型タンクの耐震実験を行い、これ以降、FRP製タンクの耐震性の高さは広く世の中に認知されている。

1995年(平成7年)1月17日未明に発生した阪神・淡路大震災の大惨事は、未だ記憶に新しいところである。厚生省(現、厚生労働省)の調査結果では、兵庫県15市町村の水道施設に被害が生じ、地震直後で約102万戸、20日経過した時点でも31万6千戸が断水したままであった。タンクは生活用水を確保し、バックアップ水源としての用途・機能を持った極めて重要な給水設備であるということを、人々に再認識させてくれたのがこの震災である。

先の宮城県沖地震の時と同じように、学識経験者を中心として建設省および関係団体の専門家による「FRP水槽耐震設計基準改訂委員会」が、社団法人強化プラスチック協会内に設置され、1996年(平成8年)6月に「FRP水槽耐震設計基準(1996年)」が策定された。

その後、同協会から「FRP水槽構造設計計算法(1981年の改訂版)」が発行され、1997年(平成9年)7月に日本建築センターから「建築設備耐震設計・施工指針(1997年版)」が1982年の改訂版として刊行された。これらの記述によると、水槽類の設計用標準水平震度は特定の施設で重要なタンクの場合は、1階および地階で $K_h=1.5$ 、上層階や屋上および塔屋で $K_h=2.0$ という極めて高い値が要求されている(表2)。

また、前述の如く、阪神・淡路大震災では多くのタンクに天井破損が見られたため、その対策としてスロッシング対策を取り入れた設計基準となっている。タンクの用途および重要度により用いられる係数が異なり、加速度計算に用いる水平震度(K_h)とスロッシング計算に用いる水平速度スペクトル値(S_v)の具体的係数

表3 水平震度とスロッシング計算に用いる水平速度スペクトル値

用途	重要度係数			
	水平震度 (K_h)		水平速度 (S_v : cm/s)	
	1.0	1.5	1.0	1.5
高置水槽	1.5	2.0	375	375
受水槽	1.0	1.5	150	225

鉛直震度は、水平震度の1/2となる。

が定められている（表3）。

上記改正に先立ち、1996年（平成8年）初頭、新耐震基準案の改訂作業に並行して5度目の耐震実験による検証を重ね、翌1997年（平成9年）の6月から新耐震基準に準拠したFRP製タンクの提供が開始された。タンク本体の強度アップは当然であるが、周辺機器に対する耐震対応も強化された。

阪神・淡路大震災での被害状況の中で、破損や倒壊に至ったタンクの大半が1947年（昭和56年）以前に設置された耐震基準を満たさない非耐震品に集中した。一方、タンク本体には被害がないものの、接続している配管部分が破損して中の貯留水が流失したり、本体を支えている鉄製架台と共に転倒したり、コンクリート基礎全体が建屋躯体から移動するという状況が見られ、アンカーボルトや鉄骨配筋の施工不備によるものも多々見られた。

上記破損状況を踏まえ、タンク据付時の遵守事項として、以下のような標準的な施工モデルが提案されている（図7）。

①タンク本体と配管の接続部分には、必ずフレキシブルジョイント（可とう継手）を使用し、接続の方向は上下とする。

②給水配管破損によるタンク貯留水流出防止策として緊急遮断弁を接続する。

③溢水口はタンク側面上方位置から取り出し、タンク内部でのラップ管立上げ方式は避ける（ラップ管が破損すると、内部の水が流失するため）。

④架台固定用アンカーボルトの本数、サイズ、配置については「建築設備耐震設計・施工基準（日本建築センター）」を遵守し、物件毎に適切な仕様を設計する。

（3）遮光性について

建物の給水系における藻類の発生については、かなり

以前から話題に上ることがあったが、1984年（昭和59年）の東京都の保健所関係者による調査研究から、光透過率の高い高置水槽に藻類の増殖が認められたとの報告があり、関係者による対応が急務となった。

これを受けて、社団法人強化プラスチック協会では、FRP高置水槽の藻類増殖対策研究専門委員会を設置し1985年（昭和60年）2月から翌年6月までの約1年半の間、藻類増殖の実態調査と藻類増殖実験などを含めた調査研究を実施し、「FRP水槽藻類増殖防止に関する調査研究報告書」がまとめられた。その後、この研究は、JISA 4110-1989「ガラス繊維強化ポリエステル製一体式水槽」に遮光性試験方法として織り込まれ、FRP製タンクの重要な評価項目のひとつとなっている。以下にその骨子を記載する。

<FRP製水槽の藻類増殖防止技術指針>

1. 適用範囲

本指針は、飲料用水槽における藻類増殖を防止する目的として、飲料水の貯水に用いられるFRP製水槽に適用する。

2. 設計用水槽照度率

水槽内の藻類増殖は光の影響が大きく、これを防止するために水槽の照度率を0.1%以下に定め、設計用水槽照度率として次式により算出する。

$$\text{設計用水槽照度率 (\%)} = \frac{\text{水槽内照度 (ルクス)}}{\text{水槽外照度 (ルクス)}} \times 100$$

FRP製タンクは、上記基準を満足するための対策として以下の工夫を凝らしている。

①一体型タンクでは外部にゲルコート樹脂を、内部にはトップコート樹脂を塗布し、両面とも顔料を配合した樹脂で遮光性を高めている。

②ボルト組立型タンクではパネル製法をSMC成型法としており、顔料や充填剤が遮光性を高めている。

③複合板構造では保温材が遮光性を高めるだけでなく、水温の上昇・低下を防ぐ効果もある。

（4）材質について

タンクの歴史の中で、古くはコンクリート製、鋼板製あるいはステンレス製などの一体型タンクがその役割を担ってきたが、1960年代後半になると、耐食性が高く、軽量で、成形が自由にできるなどの特色を活かしたFRP製タンクが世の中に出回り、爾来40年の実績と圧倒的な出荷量を誇っている。とりわけ、ボルト組立型タンクは、工期が短い、据付現場での制約が少ない、火

図7 FRP製タンクの配管例（耐震対応）

表 4 材質別タンクの種類と特徴

種 類	型 式	材 質	工 法	特 徴
鋼板製	一体型	SS400+エポキシ樹脂塗装	溶 接	大容量可 形状自由 架台と一体化可能
	ボルト組立型	SS400+ナイロンコーティング	ボルト締め	大容量可 形状自由
FRP 製	一体型	FRP (ハンドレイ・アップ)	接 着	軽 量 高耐食性
	ボルト組立型	FRP (プレス成形)	ボルト締め	搬入容易 工期短い 大容量可 形状自由 高耐食性
ステンレス製	一体型	SUS444 SUS329J4L	溶 接	高耐食性 内面処理不要 耐熱性
	ボルト組立型	SUS444 SUS329J4L	ボルト締め	高耐食性 内面処理不要 耐熱性
木 製	組立型	カラ松 米国松 米国ヒバ 米国檜	サネハギ式バンド締め	軽量 幅広い水質に適合 幅広い水温に適合

気を使用しない、解体・移設が容易等のメリットを活かし水槽市場でトップの座を維持している。

上記利便性を理由に、タンクの材質はFRPに限らず、鋼板やステンレス材についてもボルト組立型タンクの開発が進められ、最近ではステンレス製ボルト組立型タンクの出荷量が増えつつある。表4は、材質や工法についてタンクの種類をまとめたものである。

4. タンクの維持管理について

タンクは清潔な飲料水を貯留し、必要量を安定的に供給するという機能が求められ、それを維持するための定期的管理が必要となる。水道本管から量水器を経由してタンク内に貯まる水と共に、水道管内の細かい錆や微粒子な砂などが混入し、これらがタンク底部に沈降するため定期的な清掃が必要となる。槽内清掃は人力に頼らざるを得ないので、作業が簡便に出来るように、内部補強材を極力減らしていることは前述した通りである。

タンク内の清掃では、人が底板部を動き回るために足を滑らせないように、表面に凹凸をつけたアンチスリップ型パネルを組み込んで歩行の安全を確保する工夫がなされているものや、洗浄した水が残留しないよう底板部

図 8 タンクの底板勾配と排水口

に勾配をつけて水はけを容易にしたり、さらに排水口周りを他の部分より一段低くした排水ピット等で、維持管理上の安全性・衛生性を確保している (図8)。

図 9 FRP タンク維持管理制度 (有償)

タンク内面の平滑性についても、一体型ではトップコート樹脂による塗装処理で平滑度が保たれており、ボルト組立型では機械によるプレス成形のため金型鏡面がパネルに転写されることで平滑度は良好である。

一方、天井外面については、雨水による水溜まりや塵埃・紫外線による表面の汚れ、劣化が課題となる。雨水対策としては、天井に勾配をつけて水はけを良くして溜まりをなくす工夫をしている。

表面の汚れや劣化に対して、一体型は表面がゲルコート樹脂層のため劣化の進行が比較的緩く遅いが、ボルト組立型はパネル表面に樹脂とガラス繊維があるため、経年によって表面の樹脂層が僅かながら溶出して、相対的にガラス繊維が浮き出た状態が見られた。しかし、近年の成形技術の進歩・改善に伴い、パネル表面に樹脂層を造り出すことで、以前のような表面状態はなくなり、劣化の進行はかなり改善されている。

FRP 製タンクは適切な維持管理が必要とされ、その内容は定期清掃や水質検査だけでなく、タンク本体の点検・修理やタンク周りの整理・整頓なども必要である。

FRP 製タンクの設計耐用年数は 15 年とされているが、適切な維持管理が行われていることが前提であり、上述の通り、外表面の荒れが目立って来たり、汚れが落ちにくいなどの外観劣化に対しては、建築建屋の屋根や壁材と同じく表面塗装を施すことで改善される。

維持管理の良好な FRP 製タンクには、20 年以上使用されている例も多々あり、末永く安全に使用するために

も、適切な維持管理が重要である。

図 9 に、FRP 製タンクの維持管理制度の概要を説明する。この制度は、タンクメーカー又はメーカー指定の維持管理業者と有償契約することで、毎年 1 回、専門家による点検を行い、不具合箇所の早期発見によりタンクが衛生的で安全な水を供給する機能を長期間保持させることを目的とするものである。

5. おわりに

給水タンクは、長年、生命に必要な「水」のストック機能を有する重要機器として世の中に貢献してきており、今後もその使命は絶対不可欠のものと考えられるが、ここ最近、神奈川県横須賀市をはじめとして、東京都、大阪市、横浜市などの主要都市圏で、受水槽を用いない増圧直結給水方式なるものの採用が増えてきている。

一時的に多量の水を使用する施設や、常時一定量の水を必要とし断水が許されない重要な施設は、貯水機能のある受水槽方式が極めて有効であることは言うまでもないが、給水方式の多様化は時代の変化として認めざるを得ない。

今後も我々の取るべき方向は、受水槽方式の優位性を広く世の中に訴えながら、水の安全性確保に役立つ FRP 製タンクを提供し続けていくと考えている。

参考文献

- 1) 井上宇市他：空気調和・衛生設備技術史，空気調和衛生工学会（1991）。
- 2) 原田伊紀：FRP 40 年の歩み，強化プラスチック，39, 3（1993）。
- 3) 田中富夫：FRP 30 年の歩み，強化プラスチック，30, 12（1983）。
- 4) 小美野英男：FRP 20 年の歩み，強化プラスチック，20, 10（1974）。
- 5) 建設省住宅局建築指導課監修：建築設備耐震設計・施工指針（1997）。
- 6) 建設大臣官房官庁営繕部監修：官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説（1996）。
- 7) 建設大臣官房官庁営繕部監修：官庁施設の総合耐震診断・改修基準及び同解説（1996）。
- 8) 空気調和・衛生工学会編：建築設備の耐震設計・施工法（1997）。
- 9) 給水タンク方式技術研究委員会：受水槽を用いた給水方式の採用の手引き（2000）。