解説シリーズ

こんなところに複合材料：歴史編—III.

FRP 浄化槽の開発史

水 野 雄 次*

1. 浄化槽の歴史と社会環境

し尿は農業用の肥料として利用する習慣があった大正・昭和初期の時代は有価物として使用されていた。

都市化と化学肥料の普及、生活環境の快適化によるトイレの水洗化需要の高まりから、し尿を処理する単独処理浄化槽の設置が開始される。

その後、建築基準法の制定に伴い、浄化槽の構造基準が初めて定められた。処理法はアメリカで基準化された腐敗処理法によるコンクリート (RC) 製の構造で、構造基準による浄化槽の始まりとなる¹⁾。

浄化槽は処理内容別に、し尿のみを処理する単独処理浄化槽と、し尿と厨房・風呂・洗濯等の生活雑排水を処理する合併処理浄化槽があり、下水道・農業集落排水処理施設とコミュニティ・プラント以外のすべての施設が対象である。

単独処理浄化槽はトイレの水洗化による快適な生活環境を形成する住宅設備として、下水道が普及するまでの一時的な施設と定義されたが、生活雑排水を処理しないために、河川や湖沼・内湾の水質汚濁の主要な原因となっている。現在でも東京湾、三河湾、大阪湾の生活雑排水による汚濁負荷量が占める割合は 50%以上である。

地球環境問題へ関心が高まる中で、河川・湖沼・内湾の水質改善をはかる生活排水対策として、下水道と同等の優れた浄化性能の合併処理浄化槽が水環境保全に寄与する恒久的施設と位置付けられ、国の補助制度により普及促進がはかられている。

現在国民の半数近くが、下水道と浄化槽による生活排水の適正処理により快適な生活環境にあるが、処理人口の内訳は次のような割合となっている²⁾ (2001 年度末)。

汚水処理施設整備人口 9,326 万人 (全人口の 74%)

内訳

下水道人口 8,032 万人

農業集落排水処理施設	290 万人
合併処理浄化槽	965 万人
	(※単独処理浄化槽除く)
コミュニティ・プラント	40 万人

2. 浄化槽の法制化の歴史

1921 年 家庭のトイレの取締規則が公布され、腐敗槽・酸化槽・消毒槽が必要で、放流水質規制は COD (化学的酸素要求量) による規制がされている。

1950 年 建築基準法施行令が初めて制定される。

1969 年 建築基準法施行令の改正により浄化槽の構造上の性能構造基準と維持管理基準の一体化がはかられ、浄化槽の構造基準が告示として制定される¹⁾。

1970 年 浄化槽の水質性能を評価する性能評定制度が公的機関の (財) 日本建築センターで開始される。浄化槽の構造について、設計・製造・販売・施工・維持管理がすべて満足できる製品であるかを判定するため、構造の詳細確認、水質処理性能、水流試験結果等について書類審査により評価が実施される。

1983 年 「プラスチック製浄化槽工業会」と「日本浄化槽工業会」の二つの浄化槽製造業者団体が合併して、「浄化槽工業会」が発足する。

1984 年 建築基準法施行令の改正によって、浄化槽の構造基準の改正と、浄化槽法の制定による浄化槽の大臣認定制度が確立される。

工場で製造される FRP 浄化槽は水質評価関係の「性能評定」を取得し、建設大臣の「型式認定」を受けた製品でなければ製造販売ができないことが法的に規定された。同時に構造強度評価に関する「FRP 評定」が実施される³⁾。

浄化槽の品質の向上がはかられ、製造・施工・維持管理の関係団体の協力体制が形成される。

1987 年 下水道と同等の性能があると認められた合併浄化槽の設置に対する国庫補助制度が開始される。浄化槽法に基づく「型式認定」を取得した浄化槽製造業

* Yuji MIZUNO: フジクリーン工業 (株) 生産技術部
(464-8613 名古屋市千種区今池 4-1-4)

者の団体である「(社)型式浄化槽協会」が発足して、2つの団体が併存することになる。

1988年 浄化槽の構造基準の一部改正により、家庭用小型合併処理浄化槽の構造基準が制定される。

1995年 湖沼・内湾の窒素・リンによる富栄養化対策として窒素・リン除去の処理方式の採用と、水質汚濁が進行している湖沼の水質改善をはかるため高度処理方式が追加される。

2000年 建築基準法施行令と浄化槽法の改正により、単独処理浄化槽の設置廃止が決定され、し尿と生活雑排水を処理する合併処理浄化槽の設置が義務付けられる。

2002年 「浄化槽工業会」と「(社)型式浄化槽協会」が合併して「(社)浄化槽システム協会(JSA)」が発足する。

3. 浄化槽のFRP化

(1) FRP化の社会的背景

高度成長による経済発展に伴い、生活レベルの向上と生活環境の改善要求が高まり、トイレの水洗化に従って、浄化槽の需要が増大した。

1963年初頭より従来のRC製の浄化槽から污水に対する長期の耐蝕性があり、軽量化による運搬・取扱に優れ、施工期間の短縮が容易なガラス繊維強化プラスチック

ク(FRP)製の浄化槽の生産が開始された。それ以降、生活環境の改善要求に応じて、最盛期には毎年50万基が販売されて、全体では2001年度末の累計で880万基が設置されている。

1) 浄化槽の出荷基数⁴⁾(表1参照)

2) 浄化槽のFRP化は下記の社会的要因と考えられる。

①コンクリートと比較してFRPは設計要求に応じた形状・容量の商品化が可能で、工場生産のため需要に応じた量産が容易である。

②浄化槽の小型化に応じて、コンパクトな設計が容易である。

③設計要求に応じた形状の成形が容易で、地下埋設の条件に対応して、構造強度に優れた部材である。

④酸・アルカリ性の污水や廃水に対して優れた耐蝕性、耐久性がある。

⑤長期の耐久性が高く、設置後の現場におけるメンテナンス性に優れる。

⑥現場の設置条件に応じた補強仕様の製作が容易で、破損等に対しても補修性に優れている。

⑦コンクリートと比較して、FRPは軽量化が容易で、運搬、取扱に優れ、施工期間短縮によるコストメリットがある。

(2) 浄化槽の構造

1) カプセル型FRP浄化槽(図1参照)

浄化槽の規模としては家庭ごとに設置される小型浄化槽があり、処理対象人員5~50人槽程度に採用されている形状の浄化槽で、一般にカプセル型と呼ばれている。

地下埋設における土圧や内水圧に対する槽の構造強度

表1 浄化槽の出荷基数

年度	単独処理浄化槽	合併処理浄化槽	合計基数
1983	465,209	2,332	467,541
1984	489,497	3,142	492,639
1985	464,733	4,015	468,748
1986	522,624	6,362	528,986
1987	509,842	10,358	520,200
1988	480,945	17,289	498,234
1989	446,839	29,284	476,123
1990	435,365	48,009	483,374
1991	390,495	61,507	452,002
1992	393,731	79,168	472,899
1993	373,955	101,326	475,281
1994	368,093	120,469	488,562
1995	338,925	131,242	470,167
1996	339,487	155,585	495,072
1997	274,259	140,742	415,001
1998	222,304	146,444	368,748
1999	102,517	186,593	289,110
2000	19,730	218,599	238,329
2001	0	242,150	242,150
2002	0	226,057	226,057

図1 カプセル槽

図 2 円筒型横置槽

は複数の円弧と折り返しリブにより強度を満足するシェル構造である。このシェルの上下槽を接着剤とボルトナット・リベット等で接合・固定する。槽内部はFRP製の仕切板が同様の方法で固定されて、全体の構造強度のバランスが得られる設計がされている。

販売当初、FRP 浄化槽の成形法は簡便な生産設備で成形可能なハンドレアップ (HL) 法やスプレーアップ (SPU) 法であったが、現在では 10 人槽以下の浄化槽は、大量生産が可能なプレス成形法が一般的である。

初期に開発された浄化槽本体の形状は単純な縦型の円筒形が大部分を占めていたが、槽内部品の組立精度及び作業性の向上、作業環境の改善を目的にして、現在では大部分の浄化槽が上下に分割されたカプセル型の構造である。

2) 円筒型横置槽 (図 2 参照)

一般に処理対象人員が 51 人槽以上になる集合住宅や学校・工場などに設置される大型浄化槽に採用されている形状で、直径 2,000～2,500 mm ϕ の円筒形の直胴部両端に鏡板を取り付ける横置型の構造である。

直胴部の強度は円周方向に鋼製あるいは FRP 製の補強リブを一定間隔で補強して、外圧に対して安全性を確保する構造である。

大型の FRP 浄化槽は需要に応じて開発が進められ、現場施工の RC 浄化槽と、それぞれ用途・規模・立地条件に応じて採用されている。

4. FRP 製浄化槽の製造規格と設計プロセス

(1) JIS 規格と JSA 規格

FRP 浄化槽の生産量が増大するにしたがって、50 人以下の単独処理浄化槽について、製品基準と品質確保を

はかるために日本工業規格 JIS A 4101 が 1979 年に制定された。

その後、JSA において合併処理浄化槽を対象に協会規格として、下記の性能・品質・試験の評価基準が設けられた。

1) 水質処理性能

2) 構成部品の品質基準及び試験方法

①硬さ パーコール計で 30 以上

②耐薬品性 酸・アルカリ性に対する耐薬品性の評価

③槽の強さ、剛性の基準

ア) 浄化槽の構造強度は浄化槽の全高 H の実大外水圧試験で FRP の材料強度から求める安全性算定式を満足して、破損のないこと。

イ) 浄化槽の使用水位まで水を張る実大内水圧試験において、本槽の片側の最大たわみ量は浄化槽の全高 H の 1.5% 以下、最大幅 W の 3.0% 以下であること。

ウ) 仕切板の内水圧試験及び本槽の載荷試験についても規定が定められ、破損がないこと⁵⁾。

④ JSA 規格以外に (財) 日本建築センターによる「FRP 評定」では、外水圧条件による構造強度の確認項目として、座屈の安全率は短期荷重に対して 1.5 倍を満足する仕様であること⁶⁾。

3) 水密性 漏水が無いこと

4) 容量 規定する測定方法で表示された容量以上

5) 構造 浄化槽の性能を保持する内容を規定

6) 保証期間 使用開始後 3 年間以上⁵⁾

(2) 浄化槽の設計プロセス

1) 浄化槽の必要容積の設計

JIS A 3302 の「建築用途別による浄化槽の処理対象人員算定基準」により排水時間・単位使用水量及び流入水質が定められているので、建築予定の建築延べ面積等から、日間使用水量の算出と流入水質を決定する。

浄化槽の設計はこの日間使用水量と流入水質及び排水先の放流水質規制に従って、処理方式毎に処理槽の必要容積を算出して、浄化槽の規模が決定される。

2) 浄化槽の形状設計

浄化槽の必要容積を算出後、工場の生産設備・販売数量・製造コスト・運搬効率・施工性等を考慮して、カプセル型又は横置槽のタイプを選択する。採用したタイプ毎に必要な容積を満足する形状寸法を決定する。

3) 強度設計と試験評価

本槽 (本体・仕切板) の構造強度の設計は JSA 規格及び (財) 日本建築センターの FRP 評定申込要領書に準じ

(a) 三次元外観モデル

(b) 三次元内部モデル

図3 三次元解析モデル

て計画される。形状決定後の強度設計及び強さ試験・評価は浄化槽全高 H の実大外水圧試験における安全性確認と積雪、積載荷重の有無、浮上防止対策等の実際の荷重条件を考慮して行われる⁶⁾。

製品設計の品質・精度向上と開発期間の短縮を目的にコンピューターによる構造解析 (FEM) を採用しているメーカーが多いようである。

地下埋設に相当する荷重条件で、本槽の座屈応力の評価と応力、たわみ量の最大値と発生箇所を明らかにして、設計の最適化と精度の高い製品仕様の確認をしている。

具体な例として、図3～5に示すような円筒型横置槽の三次元モデルを作成して、想定する荷重条件を与えて、発生たわみ量、発生応力解析による安全性を確認後、試作品の実大耐圧試験により、最終の製品仕様を決定するプロセスが一般的である。

図4 発生たわみ量解析結果

図5 発生応力解析結果

4) 浄化槽製造販売までの許認可制度について

①性能評価とFRP 評定他

浄化槽は公共水域の安全衛生の見地から、浄化槽法により工場生産浄化槽として「型式認定」を得た後でなければ製造・販売ができないと定められている。

メーカーによる浄化槽の設計完了後、「型式認定」の申請が必要となるが、告示基準に合致の有無により浄化槽の許認可制度が複雑のため、以下の具体例で説明する。

例えば告示基準にない構造の浄化槽は水質処理性能を確認するため、性能評価機関による性能評価試験に合格後、国土交通省の「構造方法などの認定」を取得する。

その後、建築基準法による「型式適合認定 (任意)」の取得と、浄化槽法に基づく「型式認定 (義務)」を取得する。

また、任意であるが、浄化槽本体の構造強度は (財)日本建築センターの「FRP 評定」が実施されて、多くのメーカーが申請をして、公的な安全性の証明を得ている。

②生産販売

「型式認定書」が交付された後、正式に製造・販売が可

能となる。

国庫補助制度の対象となる 10 人槽以下の浄化槽の販売・設置は「全国合併浄化槽普及促進市町村協議会」（全浄協）の登録が必要となる。

このように現在販売されている FRP 製の工場生産浄化槽は生産開始までに性能、構造の評価試験がされて、安定した品質が確保されている。

5. カプセル型の生産方法⁷⁾

(1) スプレーアップ法（SPU 法）

1) この成形方法は一般的処理対象人員が 11 人以上の少量多品種の浄化槽生産に採用され、成形に経験と技術を要するので、最近ロボット成形が導入されている。

2) ロボット成形は品質向上と材料のロス率の改善に効果的であるが、生産性はスプレー成形機械の能力に依存するので、人力と同程度である。

3) 成形作業環境の劣悪による人材不足と低生産性によるコストアップ吸収策として、部品類は中国や東南アジアでの海外生産に移行しているメーカーが多い。

(2) プレス成形法（SMC 法・MMD 法・RI 法）

1) 大量販売による大量生産に必要な 10 人以下のカプセル槽が大部分を占め、型、プレス設備などに多大な投資を必要とするため、メーカーは数社である。OEM 商品として供給している製品もあるので、全体の販売に占める成形法別の生産比率は 90%前後である。

2) 成形法はシートモルディング（SMC）法（5 社）、プリフォームマッチドダイ（MMD）法（1 社）及び FRP 製ではないがオレフィン系熱硬化樹脂のジシクロペンタジエン（DCPD）を使用した反応射出成形（RIM）法を数社が採用している。FRP と DCPD の材料別による全体の販売比率は 6：4 程度と推定される。

3) SMC 法の利点はリブやボス、インサートを入れる成形が可能なので、形状設計に自由度があり、部品取り付けなど容易な構造が可能である。機械強度は MMD 法と比較すると若干劣り、ウエルドやガラスの方向性が発生することがある。生産性は大量生産を前提としているので、1,000～2,000 基/月である。

4) MMD 法の利点は浄化槽の強度を必要とする部分毎にガラス量の調整ができるので、必要な個所の強度アップが可能である。大型への製品展開が可能で、軽量化も容易である。プレス機械設備も SMC 成形ほど大型の能力を必要としないメリットがある。SMC 法と同様に量産を目的として、1,000～2,000 基/月としている。

(3) 成形方法の比較表（表 2 参照）

表 2 成形方法の比較表

	成形法		
	SPU 法	SMC 法	MMD 法
生産性	小	大	大
生産対象	少量多品種	量産品	量産品
設備投資	小	大	大
外 観	並	優良	優良
加工性	良	優良	優良
設計デザイン	良	優良	優良
機械強度	自由度中	自由度中	自由度大
剛 性	良	優良	優良
組立精度	良	優良	優良
製品コスト	中	小	小

6. 円筒型横置槽の生産方法

(1) ハンドレアップ成形法（HL 法）

1) 円筒形の内面にガラスマットを置いて、樹脂を吹き付けて、順次円周方向にマットを積層しながら型を回転して、全周に積層する成形法である。

2) 人力による成形作業のためガラス含有率に制限があるので、材料強度は最も低い。

3) 人力による内面成形のため、作業環境は劣悪である。

4) 生産性は 2 本/日で最も低い。

(2) フィラメントワインディング法（FW 法）

1) 直胴部成形の FW 法は地下埋設の設置条件に対して、ガラス含有率（50%前後）が高いので、最も優れた機械強度が得られる。材料強度に方向性があり、周方向と軸方向の強度差が大きい。

2) 円筒型の外巻きの成形法であるため、内面の平滑性、寸法精度は優れているメリットがあるが、槽内部品取り付けのためサンディングが必要となり、作業環境の悪化、組立工数が増大するデメリットがある。

3) 外面が成形面のため外観は劣る。

4) 連続生産が可能なので生産性に優れ、量産に適している。

(3) 遠心成形法〔回転成形法〕

1) 直胴部は円筒形の成形金型の内面にガラスロービングをカットしながら樹脂とともに吹き付け、回転ローラーで脱泡する成形方法で、スプレーアップ法に準じる。安定生産と成形容易性の維持のため、ガラス含有率は FW 法より低いので、機械強度は FW 法より劣る。

2) 内面が成形面になるので、槽内の仕切り板や部品の取り付けが比較的容易で、組立工数や作業環境の面で

表 3 成形方法の比較表

	成形法		
	HL 法	FW 法	遠心成形法
生産性	少	大	大
生産量	少量多品種	量産品	中
設備投資	小	大	中
外 観	型面(良)	成形面(可)	型面(良)
部品組立工数	小	大	小
加工性	良	可	良
機械強度	可	優良	良
剛 性	可	優良	良
組立精度	良	良	良
製品コスト	中	高	小

有利な点から大部分のメーカーが採用している。

3) 外面が型面のため、外観は優れている。

4) 生産はバッチ式で、4 本/日程度であるため、中規模の生産に適している。

(4) 成形方法の比較表 (表 3 参照)

7. 浄化槽の今後の課題

(1) 10 人槽以下の FRP 製合併処理浄化槽は、下水道と同等の処理性能があり、設置費用が安価であることや、投資効果が早いなどのメリットがある施設として、全国の市町村に採用されている。今後は市町村による浄化槽設置整備事業の拡大がはかられていく予定である⁸⁾。

FRP 浄化槽は 30 年の耐用年数があると認められたが、長期間の使用状況や地下設置条件を考慮すると、一

層の水質性能の安定・維持、構造強度の信頼性向上が必要である。

(2) FRP 浄化槽が開発されて 30 年が経過したが、今後は 880 万基の既設浄化槽の実態調査と評価をして、FRP 浄化槽の新しい用途展開—既設単独処理浄化槽の合併化や水のリサイクル・窒素リンの除去可能な浄化槽の開発等—を図る必要がある。

(3) 浄化槽の水質管理については保守点検が法律で定められている。住宅と同様に、FRP 浄化槽は長期間使用される状況を考慮して、浄化槽の定期的なメンテナンス態勢の構築により、さらに恒久的な施設として使用ができる態勢が求められる。

参 考 文 献

- 1) (財)日本建築センター：し尿浄化槽の構造基準・同解説, 1969 年版 (1969), 改訂版 (1972), 1996 年版 (1996)。
- 2) 農水省, 国交省, 環境省：平成 13 年度末の污水处理施設整備状況 (2002)。
- 3) (財)日本建築センター：30 年のあゆみ。
- 4) (社)浄化槽システム協会：工場生産浄化槽の出荷統計表 2002 年度版。
- 5) (社)浄化槽システム協会：合併処理浄化槽規格・部品規格 (2002)。
- 6) (財)日本建築センター：FRP 評定申込要領 (2000)。
- 7) 後藤卒土民：わかりやすい実践 FRP 成形, 工業調査会 (1998)。
- 8) (財)日本環境整備教育センター：合併処理浄化槽整備事業の手引き 2000 年度版 (2000)。