

FRP プール 50年の実績と構造的特徴に関する報告

Report on 50 years of FRP pool achievements and structural characteristics

松井 健良 内山 仁平 菊地 秀和 喜田 晃爾 糸永 汐里 萩野谷 健吾

当論文は、公益社団法人 土木学会主催 第10回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム(2024年11月)にて発表されたものです。同会の許可を得て転載したものであり、本論文の著作権は公益社団法人 土木学会に属します。無断複製・転載を禁じます。

要旨

ヤマハ発動機株式会社は1974年に国内初のオール FRP 製プールを販売し、ニーズや社会変化に応じて多様なプールの開発、事業拡大のための挑戦を続けてきた。現在までに累計6,500件以上の FRP 製プールを納入し、プールの主要材料として FRP が認知されるまでに至った。

ヤマハ FRP プールはプール槽をいくつかのユニットに分割して工場にて製造し、施工現場にてひとつのプール槽にするユニット構造を採用している。FRP の耐腐食性に優れている点や軽量である点がプールの材料として有利である一方、塩素との反応や温度収縮など FRP により生じる問題もあり、構造や工法、原材料に対する改良を行ってきた。本論文ではヤマハ FRP プールの構造的な特徴から施工技術、FRP 製プールの利点や課題を、50年の実績と共に報告する。

Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. sold Japan's first all-FRP pool in 1974, and has continued to develop a variety of pools in response to needs and social changes, and to take on the challenge of expanding its business. Up to the present, Yamaha Motor has delivered a cumulative total of more than 6,500 FRP pools, and FRP has come to be recognized as a major material for swimming pools.

Yamaha FRP pools adopt a unit structure in which the pool tank is divided into several units, manufactured at the factory, and assembled into a single pool tank at the construction site. While FRP's superior corrosion resistance and light weight make it an advantageous material for pools, there are also problems caused by FRP, such as chlorine reaction and temperature shrinkage, and improvements have been made to the structure, construction method, and materials. This paper reports on the structural characteristics of Yamaha FRP pools, construction techniques, and the advantages and challenges of FRP pools, along with 50 years of achievements.

1

はじめに

ヤマハ発動機株式会社(以下、ヤマハ)は「感動創造企業」を企業目的に、世界の人々に新たな感動と豊かな生活を提供することを目指している。1955年の創業以来、技術と感性で感動を生み出す多彩な製品を世界中へ出荷しており、現在ではランドモビリティ事業やマリン事業、ロボティクス事業からファイナンス事業まで多軸に事業を展開している。そのようなヤマハは、当時ボートの開発で培った FRP (Fiber Reinforced Plastics) の技術を活用し、1974年に国内初となるオール FRP 製プール「ファミリープール」を発売、プールメーカーとしての歴史をスタートさせた。

輸送機器メーカーとしての考え方からプールを「建築物」としてではなく「工業製品」としてとらえ、ユニット式の FRP 製プール

の開発を進めてきた。教育を目的とした幼児用プール(図1(a))や学校向けのスクールプール(図1(b))の開発から、レジャーを目的としたウォーターパーク向けの大型流水プールやウォータースライダー(図1(c))の開発、スポーツ振興を目的とした競泳用公認50m プール(図1(d))の開発、健康増進を目的としたアクウォーカフロア(水中歩行に適したブロックパターン付きフロア)(図1(e))やフラットプールの開発、よりプライベートな利用を目的としたホテル・個人向けのプール(図1(f))の開発など、ニーズや社会変化に対応し、多様なプールの開発、事業拡大のための挑戦を続けてきた。

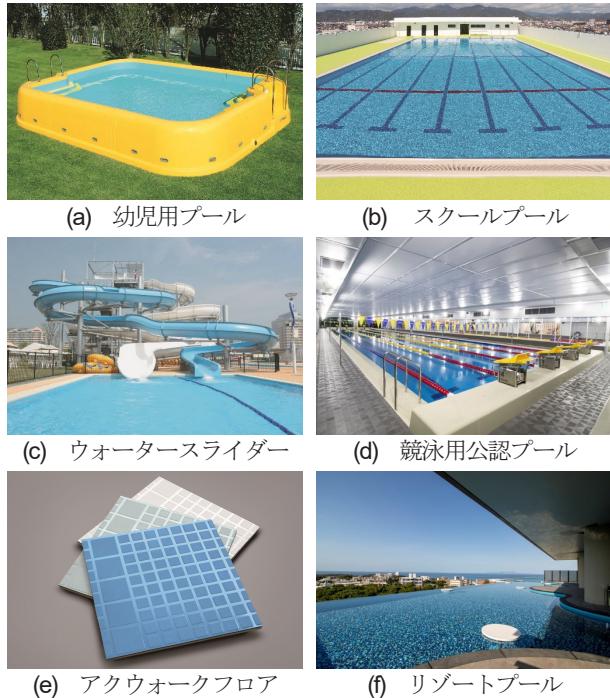


図1 ヤマハ FRP プールの商品事例

プール(幼児用プールを除く)の納入件数は累計で6,500件を超える(図2)、2020年の新規公共スクールプールにおける市場シェア(当社調べ)は、プール全体で約55%、FRP 製プールに限れば約95%に至った。日本国内にとどまらず海外市場への展開を目指し、近年では韓国を中心としたアジア諸国への納入実績も得られた。しかしながら、プール事業50周年を迎えた2024年の3月末日に営業活動を停止し、2027年をもってヤマハはプール事業から撤退することを発表した。ポートフォリオ経営を進める中で、既存事業や新たな成長事業へ経営資源を集中させるべく事業撤退を決定した。

プールの分野において、FRP 製プールはそのシェアを拡大し、広く利用されるようになった。ヤマハがプール事業に参入した当時は RC 製プールが普及していたが、現在では RC、ステンレス鋼に並び、FRP がプールの主要材料として認知されるようになった。そこには FRP の特性とプール槽との親和性の高さに加え、それらを下支えする技術や工夫が関係していると考える。本論は、FRP の新たな活用先を見つける手がかりとなることを期待して、ヤマハ FRP プールの構造的な特徴から施工技術、FRP 製プールの利点や課題を、50年の実績と共に報告するものである。

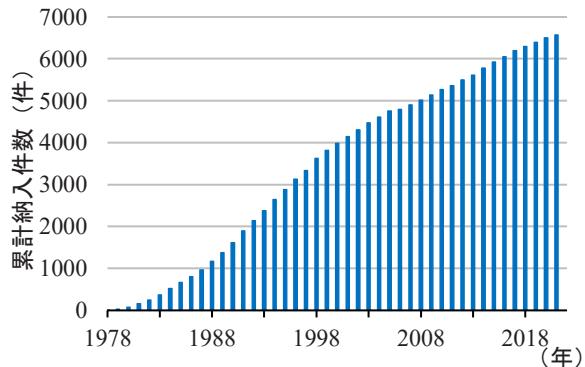


図2 プールの納入件数の推移(累計)

2 ヤマハ FRP プールの概要

2-1. 全体構造

学校向け25mの標準的なスクールプールの全体図を図3に示す。ヤマハ FRP プールは、RC 布基礎の内側にサンドクッシュョン(川砂)を敷き詰め、その上に FRP 製のプール槽を据える構造となっている。一般的な RC 製プールとは異なり、プール槽外周のプールサイドとプール槽は別々の構造となっている。図4 は FRP プールの断面を示している。プール槽はステー・ベース・アンダル(山形鋼)並びに金属系あと施工アンカーを介して RC 布基礎に固定されている。

プール槽は図5に示すように、独自の規格により分割されたユニット構造となっており、サイドユニット、フロアユニット、ガターユニット等から構成される。それぞれのユニットは工場にて製作され、施工現場へと搬入される。その後、ユニット同士を接合することでひとつの25m プール槽が完成する。プール槽を分割されたユニットとして設計し、それらを工場で生産することにより、季節や天候による品質への影響が少ないという長所がある。また、施工現場においては、プールの据付けに必要な期間が一般的には2週間程度であり、他材料と比較して現場工期を短縮できるという長所もある。

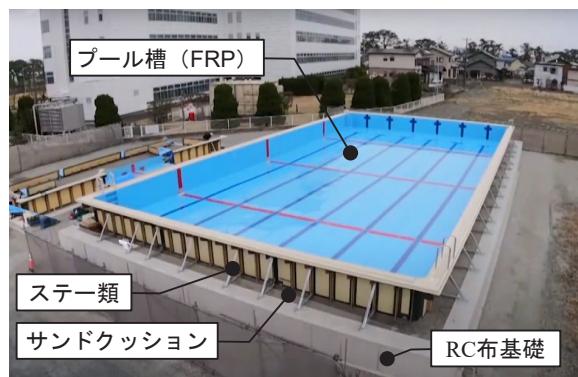


図3 スクールプールの全体図

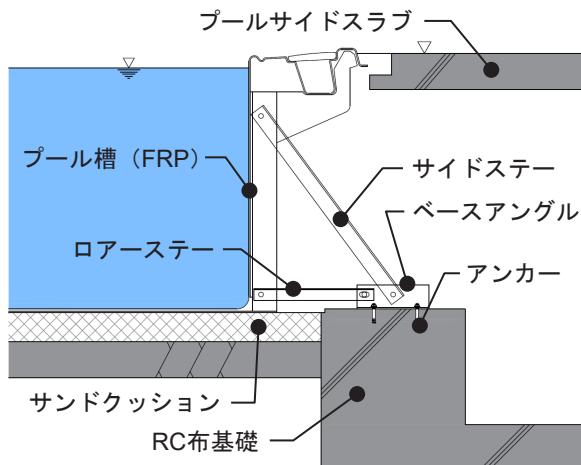


図4 スクールプールの断面図

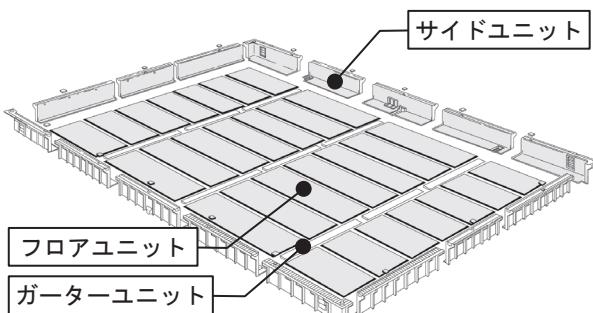


図5 分割されたユニット構造

2-2. 各ユニットの構造

サイドユニットはプール槽の側壁部分を構成するユニットであり、ハンドレイアップ法によって、オーバーフロー溝から、側壁、水底の一部までが一体的な構造となっている。ユニットの接合部となる両端部には、接合用のフランジが一体成形されており、一定の間隔で合板や合成木材等による補強用のリブが取り付けられている。フロアユニットはプール槽の水底部分を構成するユニットであり、ハンドレイアップ法による成形の他、インフュージョン法(真空樹脂含浸法)によっても成形されている。

FRP 断面は、GFRP 層(ガラス繊維 + 不飽和ポリエスチル樹脂)とゲルコート層(不飽和ポリエスチル樹脂)によって構成されている。水圧の作用する側壁部、並びに水底部においては、軽量かつ強度・剛性を高めるため硬質発泡材を積層したサンドイッチ構造となっている。

ゲルコート層は、GFRP 層を紫外線等から保護する役割がある。ユニット成形時、成形型にゲルコートを吹き付けた後に樹脂とガラス繊維を積層することにより、ゲルコートと GFRP を一体成形している。また、ゲルコートには GFRP の保護層としての

役割の他、着色の役割がある。一般的な塗料と比較して経年劣化による退色や剥がれが発生しにくく、美しい外観を長期間保つことが可能であると共に、塗替えが不要であるという長所がある。ヤマハ FRP プールの多くに使用されている色「パロスブルー」は、曇天でも栄える水の美しさを目指すとともに、塩素の漂白作用による退色に強い色として開発された。

2-3. ユニットの接合方法

ユニットによる分割方式の採用において、ユニット同士の接合方法は非常に重要な課題である。プール槽は漏水が許されない商材であり、ユニット同士の接合部にはその水圧に耐える十分な強度と、高い水密性が要求される。ヤマハ FRP プールでは、ボルト締めによるボルトアップ接続と、現地 FRP 積層による接続(以下、FRP 目貼り接合)の2つの接合方法によりそれらの要求に応えている。

サイドユニット同士の接続には、ボルトアップ接合を採用している。図6にボルトアップ接合の様子を示す。サイドユニットのフランジ面にスポンジパッキンを貼り合わせた後、隣接するサイドユニットのフランジ面と重ね合わせ、ボルトによって締め付けを行う。その後、水側の継目に化粧コーティング材を塗布して仕上げを行う。ボルト締めによってパッキンが圧縮され、フランジ同士の隙間を埋めることで止水性を確保している。接合部であるフランジ面はユニット成形時の離型面であることから、表面が平滑であり、パッキンとの高い密着性が期待できる。

水底部およびガーター部の接続には、FRP 目貼り接合を採用している。図7に FRP 目貼り接合の様子を、図8に FRP 目貼り接合部のモデルを示す。接合部となるユニットの端部はユニット表面より1段(上型)または2段(下型)凹んだ形状となっており、下型の上に接続されるユニットの上型が重なるようにユニットを配置する。ユニット同士をアルミリベットで仮止めした後、接合部の溝面をサンディングし、ガラスマットの配置、樹脂の流し込みと脱泡作業により FRP 積層を行う。硬化後、カラーペースト樹脂を塗布することにより仕上げを行う。FRP 目貼り接合により、ユニット同士が一体的な構造となるため、十分な接合強度により荷重を確実に伝達するとともに、高い水密性を発揮する。

ユニットの分割位置にも工夫がある。サイドユニットは側壁から水底の一部までをひとつのユニットとして成形しており、応力が集中する入隅部を避けた位置にてフロアユニットと接合することができる。接合位置が平面となるため、現場における FRP 目貼り接合の作業性も向上している。

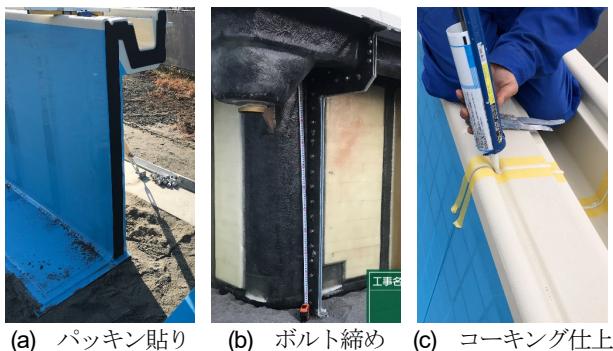


図6 ボルトアップ接合の様子



図7 FRP 目貼り接合の様子

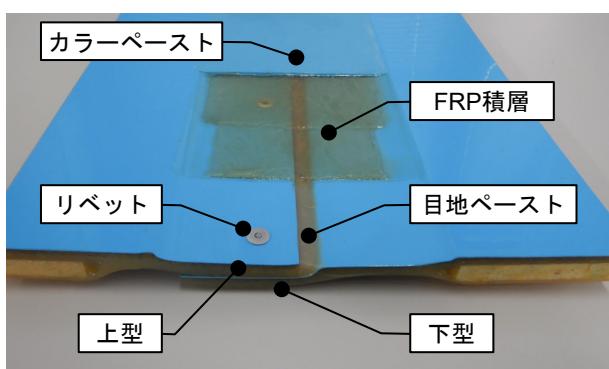


図8 FRP 目貼り接合部のモデル

2-4. 循環方式

プール使用時においては、利用者の安全・衛生が最優先される。プールの運用において必要なのが、ろ過循環システムである。その循環システムによる吸い込まれ事故等により、利用者の安全が脅かされないよう、ヤマハのスクールプールは図9に示すような、ガーターを利用した循環方式を標準採用している。プール水底部に設けられた複数の水底吸込金具および目皿からプール水が吸い込まれ、ガーター、金具、配管を経由し、ろ過機へと運ばれる。ろ過されたきれいな水が、プール側壁に分散して取り付けられた吐出金具よりプール槽へと供給される。主に旧式のプールにおいては、プール槽の最深部に吸込(排水)

部が1箇所のみの事例が多く、それらと比較してヤマハのスクールプールは吸込口を分散させることで、プール槽全体の水の循環効率を向上させるとともに、吸水圧を小さくして吸い込まれ事故の防止を図っている。また図10に示すように、吸込口は目皿のボルト固定に加えて、配管の取付口に吸込防止金具を溶接した、二重安全構造を採用している。文部科学省と国土交通省が策定した「プールの安全標準指針(平成19年3月)」においても、二重構造の安全対策を規定し、複数の吸込口設置を改修事例として記載している。ヤマハにおいてはスクールプール販売開始当初からこの方式を採用していた。

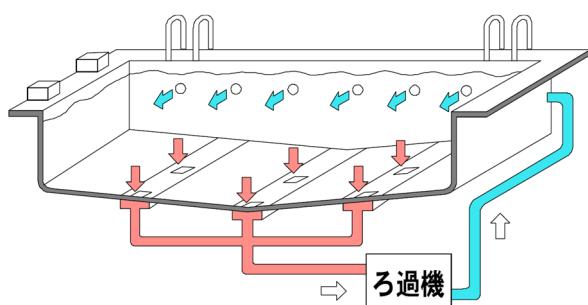


図9 ヤマハスクールプールの循環方式

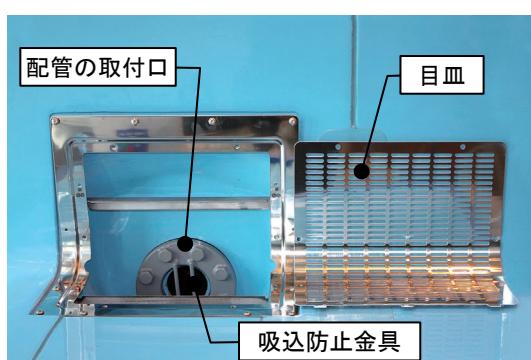


図10 二重安全構造

3 ヤマハ FRP プールの構造評価

プールの構造設計にあたり、プール水の水圧に対する各部材の強度評価を行う必要がある。水圧には、側壁に作用する水平方向の水圧と、水底に作用する鉛直方向の水圧(プール水の自重)がある。

3-1. 水平方向の水圧に対する考え方

水平方向の水圧として、長期は静水圧、短期は静水圧に加えて地震による変動水圧を考慮し、プール槽、並びにプール槽を支持するステーや基礎等の強度評価を行う。

サイドユニットの構造検討において、側壁パネルには水圧により曲げ応力が発生する。補強用リブによって側壁パネルが支持されると考え、補強用リブの間隔を狭めることで、側壁パネルに発生する最大曲げ応力度が FRP の許容応力度以下となるよう設計を行う。実際の設計業務においては、プールの水深に応じた補強用リブの間隔の最大値を定めており、その数値以下となるよう補強用リブの配置を検討している。

ステーの部材検討、布基礎の強度検討において、ステーが負担する荷重を求める必要がある。図11に示すように、プール槽を一体化的な構造物ととらえることで、プール側壁に作用する水圧による荷重の一部はフロアユニットがプール両サイドに引っ張られることで負担し、ステーは残りの荷重を負担すると考えられる。実際の構造計算においては、水圧による全荷重の2/3をフロアユニットが負担し、1/3をステーが負担するとして、ステーの構成部材検討、布基礎の強度検討を行っている。合わせてフロアユニットに発生する引張応力が、FRP 目貼り接合部の許容応力以下であることを確認する。

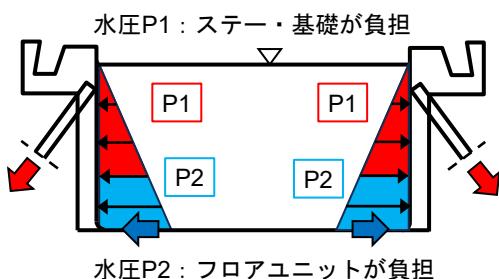


図11 水平方向の水圧に対する考え方

3-2. 鉛直方向の水圧に対する考え方

鉛直方向の水圧は、図12に示すように、フロアユニット並びにサンドクッション層を介して地盤が支持すると考え、鉛直方向の水圧に対するフロアユニットの強度照査は行っていない。しかしながら、フロアユニットとサンドクッション層に隙間が生じると、フロアユニットのみで鉛直方向の水圧を負担することになるため、プールユニット据付時にはサンドクッション層の高さに注意するとともに、砂の流出を防止する必要がある。一方、サンドクッション層が浸水した場合、浮力によりフロアユニット全体に大きな曲げ応力が作用し、フロアユニットの破断が発生する可能性がある。そのため、スラブや耐圧盤を支持層とする物件では、布基礎に排水用孔を設けるなどして水が溜まることを防止する必要がある。また、地下水位がプール底より500mm以上低いことを設置の条件としている。ただし、降雨量や地形にも十分配慮する必要がある。

4 FRP 製プールの材料的特徴

現在普及しているプールの主要材料としては FRP の他、RC、ステンレス鋼等がある。RC 製プール、SUS 製プールとの比較を含めつつ、各観点における FRP 製プールの利点、課題とその対策について示す。

4-1. 耐腐食性

常時水に接するプールにおいて水による腐食への対策が必須であり、腐食しにくい FRP は プール槽という用途との親和性が高い材料と言える。特に、塩害を受けやすい海岸沿いに設置するプールにおいては、耐腐食性の観点で FRP 製プールが有利となる。

一方、プールの消毒剤に含まれる塩素によって FRP 表面が変色する現象が発生する可能性がある。そこで含有物等を調整したプール専用の樹脂やゲルコートを開発し、変色の発生を抑えることに成功した。

4-2. 軽量

FRP は比強度に優れた材料であり、RC 製プールや SUS 製プールに比べて、プールの総重量を小さくすることができる。軽量であることは工作物、建築物として構造設計上有利であり、地上階以外にプールを計画する際や既設の建物にプールを設置する際に、重量の観点から FRP 製プールが採用されることがある。また、施工現場におけるプールユニットの据付けの際に大型の重機を必要とせず、人力での運搬も可能であるため作業性に優れている。

4-3. 設計自由度

標準的な学校用プールは矩形の平面形状をしているが、プールの幅や水深、水底の勾配など、物件に応じて要求される仕様は異なる。FRP は形状の自由度が高い材料である一方、成形するにあたり型の準備が必要となる。オーバーフロー溝から水底の一部までをひとつのサイドユニットとして成形するヤマハ FRP プールにおいて、プールの幅や水深の違いに応じて都度、成形用の型を製作していくには製造コストや型の維持費が増加してしまう。そこで、標準的な水深・プールの幅に合わせて作られた成形型に対し、型を積み上げて水深や勾配を変える積型作業や、仕切り板を立ててユニットの長さを変更する仕切り作業など、型改造の工程を行うことで、型のコストを抑えつつ様々な要求仕様への対応を可能としている。

スクールプール用の成形型の他、半径の異なる曲線用のサイドユニットの成形型を多数所持しており、これらの型から成形

したユニットを組み合わせることで、流水プール(図13(a))のように複雑な曲線形状をしたプールの製作にも対応可能である。また、水中階段(図13(b))のようにRCやステンレス鋼では設計や加工が複雑になる部分に対しても、FRPではひとつの成形型から繰り返し成形することが可能であり、FRPの形状の自由度の高さが発揮される。

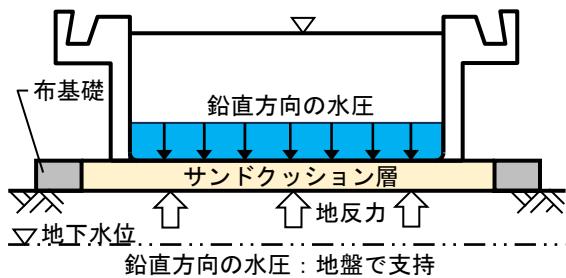


図12 鉛直方向の水圧に対する考え方



図13 形状の自由度を生かした事例

4-4. メンテナンス性

プールのメンテナンスとしては、劣化部の補修の他、劣化した塗装の塗り替え作業が含まれている。プール全体を塗装するRC製プールやSUS製プールでは、定期的な塗装の塗り替えが必要となる。一方、FRP製プールは顔料を混ぜたゲルコート層によって着色を行っているため再塗装が不要であり、長期にわたり美観を保つことができる。距離ラインおよびレンラインのみアクリルウレタン樹脂塗料により現地塗装を行っているため定期的な塗り替えが必要となるが、他の材料と比較して小規模の範囲の塗り替え作業で済む。また、あらかじめゲルコート層によってユニットに距離ラインおよびレンラインの着色することで、塗装のメンテナンスが不要な仕様を開発した。

4-5. 温度収縮

FRP材は温度収縮の大きい材料であり、一般的な鉄やコンクリートの線膨張係数が約 $1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ であることに対し、ヤマハFRPプールに使用されているFRPの線膨張係数は約 $2.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ と高い値を示す。特にプールのように規模の大

きい構造物においてはFRPの温度収縮は無視することができず、プールの水を抜いた際には温度差によってフロア部が収縮・変形し、大きく波打つことがあるため、維持管理の方法として非使用時においても満水保管を推奨している。 $-0\text{mm} \sim +10\text{mm}$ の高い寸法精度が求められる競泳用の公認50mプールにおいては、工場でのユニット製作時期と現地施工時期の気温差からFRPの伸縮量を推定し、ユニットの長さを調整することで要求精度を満たすことに成功した。また、フロアユニットにおいては、従来のハンドレイアップ法から、インフュージョン法に切り替えることにより、ガラス繊維含有率を高め、温度収縮の抑制につながった。

4-6. 耐久性

RCはコンクリートの中性化の進行による鉄筋の発錆等から耐用年数を推定することが可能な一方、FRP製プールの耐用年数の考え方については、現状まだ明確に定められていない。FRPは紫外線等の外的要因によって強度低下する材料であり、ヤマハFRPプールにおいても長年使用したプールから採取されたFRP板の強度は、成形直後のFRP板の強度と比較して低下していることが社内試験により分かっている。FRPの強度低下の進行率についてはまだデータが不足しており、加えてFRP製プールの構造物としての限界をどのように判断するのかという基準も明確に定められていないのが現状である。

ヤマハFRPプールは30年の使用を目的に開発されており、FRPの設計強度については、実験により得られた材料強度に対し、ばらつき等による安全率とは別に、材料の強度低下を考慮した低減係数を乗じて定めている。なお、強度低下の低減係数は実験等により求めた値ではなく、FRP水槽の構造計算法^[1]等を参考に仮定した値である。実績として、1978年に納入されたヤマハ初の学校用スクールプールは、46年経過した2024年現在でも使用されている。

5 おわりに

ヤマハFRPプールの構造的な特徴から施工技術、FRP製プールの利点や課題を、50年の実績と共に報告した。ボートの開発で培ったFRP技術の活用先としてプールに注目し、国内初となるオールFRP製プールを開発した。その後もニーズや社会変化に応じて多様なFRPプールの開発を続け、現在ではFRPがプールの主要材料として認知されるまでに至った。FRPとプールの親和性の高さに加え、プールとしての要求性能や課題に対して、構造や工法、原材料の開発や改良を続けてきた結果であると考える。

■参考文献

[1] 強化プラスチック協会:FRP水槽構造設計計算法(1996年版), p. 20, 1997.

■著者



松井 健良
Takayoshi Matsui
マリン事業本部
国内事業推進部
プール管理部



内山 仁平
Jimpei Uchiyama
マリン事業本部
国内事業推進部
プール管理部



菊地 秀和
Hidekazu Kikuchi
マリン事業本部
国内事業推進部
プール管理部



喜田 晃爾
Koji Kida
マリン事業本部
国内事業推進部
プール管理部



糸永 汐里
Shiori Itonaga
マリン事業本部
国内事業推進部
プール管理部



萩野谷 健吾
Kengo Haginoya
マリン事業本部
国内事業推進部
プール管理部