

# FRP Reinforced Concrete Around the World, Part 2

## Initiatives for acceptance and safe implementation: Australia, Japan, and Russian Federation

This two-part article provides a snapshot of activities intended to make the technology of fiber-reinforced polymer (FRP) reinforcement for concrete structures available to the worldwide construction industry. The series is sponsored by NEx: An ACI Center of Excellence for Nonmetallic Building Materials ([www.nonmetallic.org](http://www.nonmetallic.org)) and was coordinated by Antonio Nanni, University of Miami, Coral Gables, FL, USA. The authors represent the countries covered in each article. For Part 2, they include:

- **Australia:** Allan Manalo;
- **Japan:** Hiroshi Mutsuyoshi, Naoki Nagamoto, and Makoto Murata; and
- **Russian Federation:** Andrey E. Lapshinov and Egor Litvinov.

### Australia

The use of FRP bars as internal reinforcement in concrete structures, where steel corrosion is a major concern, has increasingly gained acceptance because of research and development efforts over the last 10 years. These advances have also led to multiple field applications of glass FRP (GFRP) reinforcing bars in concrete structures, showing growing confidence in Australia for this technology.

GFRP bars have been used mainly as reinforcement in concrete structures exposed to harsh environmental conditions. In addition, around 20% of the market is for electrical and magnetic nonconductive applications, including rail signal loops, magnetic resonance imaging (MRI) facilities, and nuclear science buildings. Examples of recent applications include the Pinkenba Wharf at a cement facility in Brisbane, which is considered the largest use of GFRP bars in Australia in a single application (that is, 305,000 m [1 million ft] of 16, 19, and 22 mm diameter [No. 5, 6, and 7] bars). The GFRP bars were also specified for electromagnetic neutrality and sensitive electrical research equipment in the construction of the Molecular Horizons Building at the University of Wollongong. In this project, a total of over 100,000 m (328,000 ft) of GFRP bars were used in 14 m (46 ft) deep piles, pile caps, slabs-on-ground, columns, and walls through to the second story and in the first-floor suspended slab.

Marketing targets for the use of FRP bars are marine infrastructure, precast concrete in structures exposed to aggressive environments, and electrical applications. For example, a collaborative program between the University of Southern Queensland and the Queensland Department of Transport and Main Roads is exploring the benefits of GFRP bars in boating and marine infrastructure. This collaboration has already resulted in the approval of precast GFRP-reinforced concrete (RC) boat ramp planks (Type RG4000 FRP) for use in the construction of boat ramp planks within the state of Queensland.<sup>1</sup>

It is estimated that between 2012 and 2018, there were more than 2.5 million m (8 million ft) of GFRP bars installed in construction projects across Australia. Overall, the market value for FRP bars was around AU\$5.0 million in 2017, and it is projected to increase by 13% per year.<sup>2</sup>

### Design

The Building Code of Australia<sup>3</sup> allows the use of international codes for FRP reinforcement under the alternative design solutions provision. Thus, design engineers and asset owners in Australia have referred to the available international codes and guidelines—ISO 10406-1:2015,<sup>4</sup> ACI 440.6-08(22),<sup>5</sup> ASTM D7957/D7957M-17,<sup>6</sup> and CSA S806-12 (R2017)<sup>7</sup> and CSA S807:19<sup>8</sup>—for materials testing and qualification of GFRP bars, as well as design and construction of infrastructure projects with FRP bars. These international standards and guidelines are cited in the design and construction of most projects and with reference to the relevant Australian loading and design standards.

### Procurement

Most of the GFRP bars available in the Australian market are imported. These bars are distributed by several suppliers to contractors and sometimes directly to the project owners. These commercially available GFRP bars are either circular or round solid bars made according to the ASTM D7957/D7957M-17 and CSA S807:19 standards. Similarly, FRP bars are available in nominal diameters ranging from 3 to 40 mm (0.1 to 1.6 in.), which are standard sizes in the ASTM and CSA documents. However, most of the investigated and used

## Additional ACI Online Technical Resources

On-Demand Course: Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Systems for Strengthening Structures (three-part series)

On-Demand Course: Design and Construction with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bar (two-part series)

On-Demand Course: Field Applications of Non-Conventional Reinforcing and Strengthening Methods for Bridges and Structures

Visit [www.concrete.org/education/aciuniversity.aspx](http://www.concrete.org/education/aciuniversity.aspx).

bars have diameters ranging from 6 to 25 mm (No. 2 to 8). Moreover, the majority of FRP bars used in projects and investigated by different universities in Australia are made of electronic-glass fibers and vinyl ester resin, with basalt FRP (BFRP) bars now being introduced.

### Quality assurance (field acceptance)

One major issue in Australia is how to ensure the quality of FRP bars available on the market. The review of current practice by Manalo et al.<sup>2</sup> showed that the Australian market for FRP bars is diverse. Even though these products are marketed to be the same, properties of FRP bars tend to vary significantly, depending on the manufacturer and bar types. It is, however, important that the bars available in Australia have properties meeting the limits of CSA S807:19 and ASTM D7957/D7957M-17, thus assuring engineers and project owners of the quality of the FRP bars that they are using.

The review of current practice provided an informed decision for the standards organization in Australia (Standards Australia) on developing a standard or specifications to ensure the quality of the FRP bars. Currently, the Standards Australia technical committee BD-108, Fibre-Reinforced Polymer Composite Bars, is developing the material specifications for GFRP bars to ensure the structural quality and grade of bars for use as internal reinforcement for concrete components in structures. This material standard will provide the minimum requirements for geometric, material, physical, mechanical, and durability properties of FRP bars to ensure their effective use as internal reinforcement in concrete structures. At the same time, members of the Standards Australia technical committee BD-002, Concrete Structures, are working to include the design of concrete structures using GFRP bars. These initiatives will provide an opportunity to lead and influence the effective use of FRP bars as an alternative reinforcing material in Australian civil infrastructures.

In the meantime, the Transport for New South Wales has recently published a technical guide on the design of continuously reinforced concrete pavement using GFRP bars at traffic loops. And the Queensland Department of Transport and Main Roads has drafted a technical specification for supply, fabrication, and placement of GFRP reinforcing bars,

opened now for a public discussion. These technical guides and specifications allow transport companies to start specifying the use of GFRP bars in their infrastructure projects until the approval and publication of the specification from Standards Australia.

### Japan

Having the advantages of being rust free, high strength, and lightweight, FRP produced by impregnating carbon, aramid, glass, or basalt fibers with resin has attracted attention as an alternative reinforcement to steel bars and prestressing steel. The Shinmiya Bridge (with a span length of 6.1 m [20 ft]) was constructed in 1988 as the world's first bridge using carbon FRP (CFRP) for the prestressing tendons. The "Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials"<sup>9</sup> was published by the Japan Society of Civil Engineers (JSCE) in 1996. JSCE's recommendation was the world's first set of guidelines stipulating design, construction, and test methods for applying FRP to concrete structures. However, it has not been revised and is still in use. Recently, however, the Japan Prestressed Concrete Institute (JPCI) established new recommendations.<sup>10</sup> The new document is in both Japanese and English, and it incorporates the latest research findings on the basis of JSCE's recommendation.

### Recommendation for design and construction

JPCI's recommendations apply to the design, construction, and maintenance of RC and prestressed concrete (PC) structures using FRP as reinforcement or prestressing tendons. The FRP types include carbon, aramid, or basalt fiber rods impregnated with resin. For the purpose of providing designers, contractors, and clients with useful information, JPCI's recommendation includes reference materials on: (a) trial design of bridges using FRPs and an example calculation of life-cycle costs; (b) the quality standards and performance test methods for FRP materials; and (c) detailed material characteristics, structural details, and application examples for each FRP bar material discussed in the main text of the document. Table 1 provides the chapter titles.

**Chapter 1** includes the scope of application, basic principle of design, requirements for structures, definition of terms, notation, and related standards. The scope of application of JPCI's recommendation includes concrete structures with reinforcing bars and prestressing steel fully or partially replaced with FRP, as is the case with JSCE's recommendation.

**Chapter 2** includes the basic concepts of design, construction, maintenance, design service life, and performance verification methods pursuant to the higher-level standards.<sup>11</sup>

**Chapter 3** introduces basic provisions related to materials necessary to ensure the required performance of concrete structures; the test methods to set the mechanical characteristics of FRP such as strength, Young's modulus, and

relaxation rate; and the design values of respective FRP materials. Because FRP is a composite material made up of fibers as the core materials and polymer (resin), Chapter 3 also explains that when FRP is exposed to high temperatures, there is a possibility of adhesion reduction due to softening of the polymer.

**Chapter 4** introduces the types and combinations of actions to be set in each limit state.

**Chapter 5** stipulates the items subject to performance verification and structural analyses to be performed.

**Chapter 6** describes the methods for verifying the safety of concrete structures with FRP reinforcement against flexural moment, shear force, and torsion in an ultimate limit state.

**Chapter 7** describes the performance verification methods for the safety of concrete structures using FRP reinforcement against stress, cracks, displacement, deformation, and vibration in a serviceability limit state. Regarding cracks, unlike steel reinforcement, FRP reinforcement does not have problems with corrosion due to the infiltration of moisture or chlorides. Therefore, JPCI's recommendation stipulates the limit values of crack widths taking into consideration external appearance and watertightness with reference to the latest international standards. It shall be noted that because FRP has a smaller Young's modulus than steel, concrete structures using FRP reinforcement are likely to have large deformations if there is not enough reinforcement.

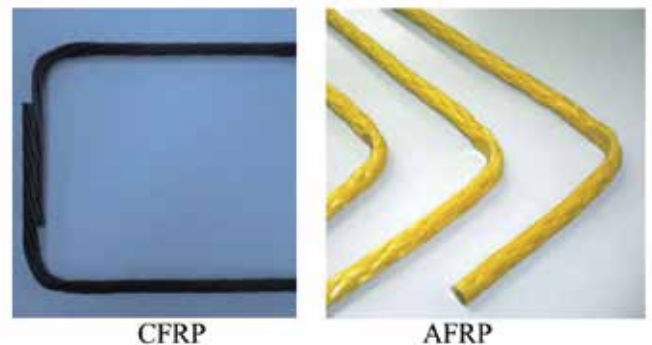
**Chapter 8** describes the performance verification methods for the safety of concrete structures with FRP reinforcement in a fatigue limit state. Using FRP as external cables to reinforce existing or new concrete structures requires durability verification through fatigue tests assuming variable stress on tendons at anchorage sections because the fatigue strength at anchorage sections is less than the fatigue strength of FRP in general. Also, JPCI's recommendation requires confirmation of safety against fretting fatigue of FRP reinforcement at deflected sections, where contact stresses and lateral motion can occur.

In **Chapter 9**, the requirements for durability examinations are specified. The chapter introduces water, alkaline environment, and ultraviolet radiation as factors generally affecting the durability of FRP reinforcement. FRP is likely to have reduced tensile strength when exposed for a long time to an alkaline environment under high temperatures. Therefore, JPCI's recommendation requires concrete structures to be designed by taking into consideration the retention rate of tensile strength of FRP reinforcement.

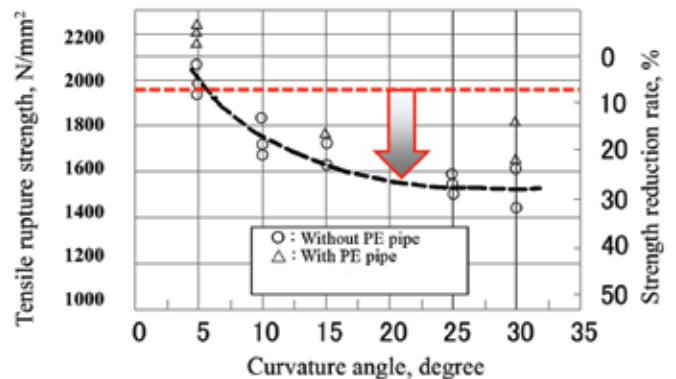
**Chapter 11** describes the structural details such as concrete cover, required amounts of steel, arrangement, shapes, and anchorage necessary for the design of concrete structures using FRP as reinforcement or tendons. When using bent FRP bars as alternatives to steel bars, as shown in Fig. 1, it is necessary to examine possible strength reduction at the bends. Because it has been confirmed that bent portions of FRP tendons are weaker, it is necessary to verify safety through experiments, as shown in Fig. 2.

**Table 1:**  
Table of contents of JPCI's recommendation<sup>10</sup>

Chapter	Title
1	General Provisions
2	Basic Points for Design, Construction and Maintenance
3	Materials
4	Actions
5	Performance Verification
6	Ultimate Limit State
7	Serviceability Limit State
8	Fatigue Limit State
9	Durability
10	Seismic Design
11	Structural Details
12	Construction
13	Maintenance
Ref. 1	Trial Design Examples
Ref. 2	Quality Standards and Test Methods
Ref. 3	Practical Data on FRP



**Fig. 1:** Example of carbon and aramid FRP (CFRP and AFRP, respectively) bending and molding



**Fig. 2:** Relationship between curvature angle and tensile strength of CFRP reinforcement

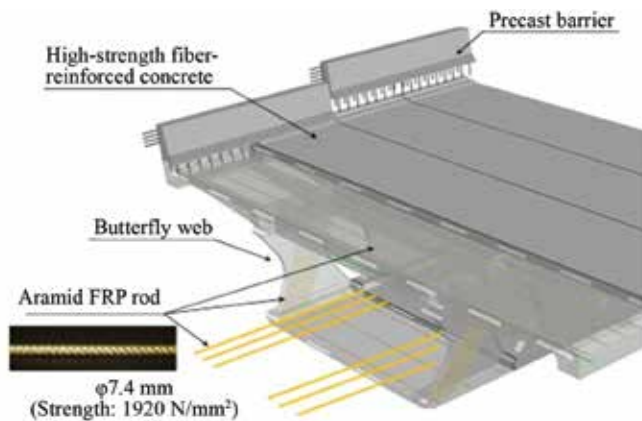


Fig. 3: Nonmetallic bridge concept (Note: 1 mm = 0.04 in.; 1 N/mm<sup>2</sup> = 145 psi)

References address the following:

- Trial designs and life-cycle costs of PC bridges are introduced for bridges incorporating FRP as prestressing tendons. Trial designs are conducted for: (a) a PC slab using aramid FRP (AFRP); (b) a pretensioned PC simple slab girder bridge using AFRP; (c) a pretensioned PC simple slab girder bridge using CFRP; and (d) a post-tensioned PC girder bridge using CFRP;
- Quality standards are stipulated on the basis of the revision of existing standards and new FRP test methods are described: (a) Test Method for Tensile Properties of Bent Portions of FRP; (b) Evaluation Method for Alkali Resistance of FRP; and (c) Test Method for Alkali Resistance of FRP with Respect to Temperature Conditions during Concrete Curing; and
- Practical data on FRPs include product specifications, mechanical properties, durability test results, structural details, and actual performance of four types of FRPs currently used in construction. Dimensions and various characteristic values of the four types of FRPs are also provided.

### Bessodani Bridge

As a response to the need for concrete bridges in extremely corrosive environments, West Nippon Expressway Co., Ltd. and Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd. have been developing a nonmetallic bridge concept since 2010,<sup>12,13</sup> with the aim of providing a radically innovative solution to address deterioration due to steel corrosion. This technological solution was used in the Bessodani Bridge, Tokushima Expressway, in 2020. A nonmetallic bridge eliminates the use of all steel members, including reinforcing bars and steel prestressing tendons, and it has a superstructure made up of noncorrosive materials only. Without deterioration due to steel corrosion, this new type of structure can potentially be used maintenance-free for a long time. Moreover, the technology is expected to have a lower climate impact because bridge renovations will not be required and

greenhouse gas emissions will be limited to the initial construction period only.

Figure 3 shows the structural concept of the nonmetallic bridge. The structure is a PC bridge composed of high-strength fiber-reinforced concrete and AFRP rods. The AFRP rods are laid out inside and outside of members as prestressing tendons to reinforce against bending moments and tensile forces. A high-strength fiber-reinforced concrete mixture was developed that uses both coarse aggregate and short fibers to achieve a shear strength over twice that of ordinary high-strength concrete. The concrete also has high tensile toughness. The web structure is composed of butterfly-shaped concrete panels, enabling an efficient design with reduced girder weight. The precast concrete panels in the web contain diagonally oriented AFRP rods to transfer shear forces.

The Bessodani Bridge<sup>14</sup> is a 25.5 m (84 ft) long, single-span butterfly web box-girder bridge with an effective width of 10.66 m (35 ft) and a girder depth of 2.8 m (9 ft). The bridge is comprised of 12 plant-fabricated segments. However, because of transport weight limits on public roads, the construction plan called for the end-support segments to be fabricated in three sections, transported to the site, and then joined together by transversely tensioned cables. For the same reason, the concrete for filling the end-support crossbeams and for the deviator partition walls was cast in place on site. For the main cables, nine 7.4 mm (0.3 in.) diameter AFRP rods were used for a single cable, and 34 cables were arranged to make up the external tendon structure, which was designed to be fully prestressed.

The Bessodani Bridge is the world's first application of the nonmetallic bridge for highways, a technology that enhances structural durability to reduce the burden of future maintenance. By eliminating the need for major maintenance and renovation projects during its service life, this extremely long-lasting bridge can also be expected to have a positive environmental impact by reducing greenhouse gas emissions. West Nippon Expressway and Sumitomo Mitsui Construction are planning to apply the technology to other projects.<sup>15</sup> Currently, the nonmetallic deck slab developed through this joint research has been applied to a deck replacement on a steel girder bridge in a large-scale expressway renewal project (Fig. 4).

### Russian Federation

The world's first design code (recommendations P-16-78<sup>16</sup>) for FRP-reinforced structures appeared in the Union of Soviet Socialist Republics (USSR) in 1978; however, it referred only to prestressed 6 mm (0.2 in. [No. 2]) bars. Many pilot projects (that is, three bridges, insulator-free bracket arms of power transmission line supports, and insulation columns of high- and extra-high-voltage transmission lines) were built using this code. FRP reinforcement was first mentioned in modern Russia in 2003 in the design code for RC structures SP 52-101-2003,<sup>17</sup> but this document did not contain any design guidance.

In 2013, the National Association of Builders approved an advisory document (STO NOSTROY 2.6.90-2013<sup>18</sup>) for FRP



deformed reinforcement of solid and hollow cross sections made from glass or basalt fibers. This document sets out requirements for use of composite reinforcement in concrete, masonry, and geotechnical structures; residential construction; and transportation infrastructure.

Currently, the main document for FRP reinforcement in the Russian Federation is GOST 31938-2012.<sup>19</sup> It establishes general specifications and covers composite polymer deformed elements designed for reinforcement of RC and PC elements built in aggressive environments and meeting fire resistance and fire safety requirements specified in GOST 30247.0-94<sup>20</sup> and GOST 30403-2012,<sup>21</sup> respectively. GOST 32492-2015<sup>22</sup> establishes methods for the determination of physical and mechanical characteristics of FRP reinforcement, while GOST 32486-2015<sup>23</sup> sets out methods for the determination of structural, thermal, and mechanical characteristics of FRP reinforcement.

The most common manufacturing process of FRP reinforcement in Russia is pultrusion, although none of the regulatory documents restricts the use of any other manufacturing method. FRP reinforcement can be only of round sections. In accordance with GOST 31938-2012, the nominal diameter shall be from 4 to 32 mm (0.16 to 1.26 in.); however, manufacturing of FRP reinforcement of other nominal diameters is also allowed, provided it meets the requirements of the standard. FRP reinforcement of a nominal diameter of 4 to 8 mm (0.16 to 0.31 in.) can be supplied in coils. FRP bars have surface deformations for a better bond with concrete. The surface deformations can be formed by winding of continuous fiber on the bar or by making lugs and ribs by indentation of a bar core. The surface profile may also include a sand layer applied onto the bar, provided that the requirements of GOST 31938-2012 are met. Table 2 shows a comparison of the material specifications according to GOST 31938-2012, its proposed revision of 2021, and those of ASTM D7957/D7957M-17.

To check the compliance of FRP reinforcement with the requirements of the standard, the following tests in accordance with GOST 16504-81<sup>24</sup> must be carried out:

- Approval tests for each batch;
- Periodic tests at 6-month intervals during the first year of manufacture and 1-year intervals thereafter; and
- Routine quality control (QC) tests.

The compliance of FRP reinforcement is currently verified in the form of voluntary certification. Certification of products can also be carried out to verify compliance with requirements of international and foreign national standards. Such certification is performed at the initiative of a manufacturer or at a customer's request.

Manufacturers can also produce FRP reinforcing bars in accordance with their own technical specifications, so called TU. TUs may specify lower bar performance compared to those stated by GOST. Thus, a measured diameter can be determined not by a bar but by its winding. TUs can also contain a lower performance level for ultimate tensile strength



Fig. 4: Construction of a nonmetallic slab

and alkali resistance. Reinforcing bars manufactured in accordance with TUs can be used only in nonstructural (nonload-bearing) elements.

During the construction period, the city (or another authorized organization) engineer selects reinforcing bar specimens at the jobsite to conduct tests for the determination of the main physical and chemical characteristics (that is, nominal diameter, tensile strength, and concrete bond). Tests must be performed by an independent certified laboratory and the values obtained have to be compared with those required by the project design. In case of noncompliance of the values obtained from tests with requirements specified in the project design values, a project engineer must adjust the design based on the actual material characteristics.

In Russia, regulatory documents for FRP reinforcement are developed in collaboration with the technical committee for standardization TK 465, Stroitelstvo (Construction). Also, FRP-RC structures are designed in accordance with the Code of Practice, SP 295.1325800.2017,<sup>25</sup> which came into effect in 2018. Since July 2015 and until that time, Annex L to SP 63.13330.2012<sup>26</sup> was in effect. It should be noted that the methods for designing FRP-RC structures in 2015 used high safety coefficients, which were later reviewed and lowered as reflected in a separate document SP295.1325800.2017. Since June 2021, Amendment No.1 to SP295.1325800.2017 has been in effect. The amendment was introduced into calculations for crack resistance and crack width. It should be noted that this code of practice covers only the design of industrial and civil construction exposed to static load and does not cover transportation infrastructure and bridges. Standards for designing FRP-RC bridges and other structures subjected to dynamic load have yet not been accepted.

Design of FRP-reinforced structures in accordance with SP 295.1325800.2017 is done for two limit states: ultimate limit state and serviceability limit state. SP 295.1325800.2017 covers the design of RC structures reinforced with carbon, aramid, basalt, or glass FRP reinforcing bars. Hybrid FRP reinforcement (for example, glass and carbon fibers) can be used as well.

**Table 2:**  
Comparison of GOST and ASTM D7957/D7957M-17 material requirements for FRP reinforcement

Property	GOST 31938-2021		GOST 31938-2012		ASTM D7957/D7957M-17
	GFRP	BFRP	GFRP	BFRP	GFRP
Fiber mass content, %, no less than	80		75		70
Nominal ultimate tensile strength, $\sigma_B$ , MPa	1000		800		from 533 to 843 (depends on the diameter of the rod)
Nominal mean tensile modulus of elasticity, $E_f$ , MPa, no less than	50,000		50,000		44,800
Guaranteed transverse shear strength, $\tau_{sh}$ , MPa, no less than	150		150		131
Nominal ultimate compression strength, $\sigma_{bc}$ , MPa, no less than	300		300		—
Guaranteed bond strength, $\tau_b$ , MPa, no less than	12		12		7.6
Decrease in tensile strength after exposure to alkaline conditions, $\Delta\sigma_B$ , %, no more than	20 (30 days at 60°C)		25 (30 days at 60°C)		20 (90 days at 60°C)
Guaranteed bond strength after aging in an alkaline environment, $\tau_{b1}$ , MPa, no less than	10		10		—
Mean glass transition temperature, $T_g$ , °C, no less than	90		—		100
Mean degree of cure, %	—		—		95
Operating temperature limit, $T_3$ , °C, no less than	90		60		—
Lateral porosity	Dye penetration is not allowed within 15 minutes		—		—
Moisture absorption in 24 h at 50°C, %, no more than	0.15		—		0.25
Mean moisture absorption to saturation, %, no more than	—		—		1 (to saturation at 50°C)

\*The use of concrete structures with FRP under conditions of exposure to elevated temperatures is limited by the glass transition temperature of the polymer matrix

Note: 1 MPa = 145 psi; °F = 1.8 × °C + 32

Strength calculation of FRP-RC structures is carried out for:

- Normal sections (under action of bending moments and longitudinal forces);
  - Oblique sections (under action of transverse forces); and
  - Local action of load (local compression or punching).
- SP 295.1325800.2017 also specifies minimal reinforcement ratios, structural requirements, and design details.

## References

1. Manalo, A.C.; Mendis, P.; Bai, Y.; Jachmann, B.; and Sorbello, C.D., "Fiber-Reinforced Polymer Bars for Concrete Structures: State-of-the-Practice in Australia," *Journal of Composites for Construction*, ASCE, V. 25, No. 1, Feb. 2021.
2. Manalo, A.C.; Alajarmeh, O.; Cooper, D; Sorbello, C.D.; Weerakoon, S.Z.; and Benmokrane, B., "Manufacturing and Structural Performance of Glass-Fiber-Reinforced Precast-Concrete Boat Ramp Planks," *Structures*, V. 28, Dec. 2020, pp. 37-56.
3. "The Building Code of Australia," National Construction Code Series, Australian Building Codes Board (ABCB), Canberra, ACT, Australia, 2015.
4. ISO 10406-1:2015, "Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement of Concrete—Test Methods—Part 1: FRP Bars and Grids," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2015, 39 pp.
5. ACI Committee 440, "Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement (ACI 440.6-08 (ACI 440.6-08) (Reapproved 2022))," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 6 pp.
6. ASTM D7957/D7957M-17, "Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 5 pp.
7. CSA S806-12 (R2017), "Design and Construction of Building Structures with Fibre-Reinforced Polymers," CSA Group, Toronto, ON, Canada, 2012, 206 pp.
8. CSA S807:19, "Specification for Fibre-Reinforced Polymers," CSA Group, Toronto, ON, Canada, 2019, 67 pp.

9. JSCE Research Subcommittee on Continuous Fiber Reinforcing Materials, "Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials (Translation from the Concrete Library No. 88 published by JSCE, September 1996)," Concrete Library of JSCE No. 31, Japan Society of Civil Engineers (JSCE), June 1998, 64 pp.

10. "Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Fiber Reinforced Polymer," Japan Prestressed Concrete Institute (JPCI), Tokyo, Japan, 2021.

11. "Technical Standards for Concrete Structures: Performance-Creative Design, Construction and Maintenance," Japan Prestressed Concrete Institute (JPCI), Tokyo, Japan, 2019.

12. Ohshiro, T.; Matsui, T.; Kasuga, A.; and Nagamoto, N., "Development of Non-Metal Bridge," *Proceedings of the Fourth International fib Congress 2014, Mumbai*, Mumbai, India, Feb. 10-14, 2014.

13. Fukunaga, Y.; Ohshiro, T.; Matsui, T.; Kasuga, A.; Asai, H.; and Nagamoto, N., "Development of Non-Metal Bridge Contributed High Durability," *Proceedings of IABSE Conference Nara 2015*, Nara, Japan, May 13-15, 2015, pp. 416-417.

14. Wada, Y.; Fuji, Y.; Ashizuka, K.; Sanga, T.; and Fujioka, T., "Construction of Actual Non-Metal Bridge," *Proceedings of the fib Symposium 2020*, Shanghai, China, Nov. 22-24, 2020.

15. Fukuda, M.; Ashizuka, K.; Karino, T.; and Kasuga, A., "Experimental Study on Fatigue Durability of Ultra High Durable Slab," *Proceedings for the 2018 fib Congress Held in Melbourne, Australia*, Melbourne, Australia, Oct. 7-11, 2018.

16. P-16-78, "Recommendations for Design of GFRP Reinforced Structures," NIIZhB of Gosstroy of USSR, Moscow, Russia, 1978, 17 pp.

17. SP 52-101-2003, "Concrete and Reinforced Concrete Structures without Prestressing," Gosstroy of Russia, Moscow, Russia, 2003, 59 pp. (in Russian)

18. STO NOSTROY 2.6.90-2013, "Applications in Concrete Construction and Geotechnical Structures of Non-Metallic Composite Reinforcement," National Association of Builders, Moscow, Russia, 2014, 115 pp. (in Russian)

19. GOST 31938-2012, "Fiber-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. General Specifications," Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2012, 40 pp.

20. GOST 30247.0-94, "Elements of Building Constructions. Fire-Resistance Test Methods. General Requirements," Ministry of Construction of Russia, Moscow, Russia, 1995, 11 pp.

21. GOST 30403-2012, "Building Structures. Fire Hazard Test Method," Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2012, 16 pp.

22. GOST 32492-2015, "Fibre-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. Determination of Physical-Mechanical Properties," Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2015, 20 pp.

23. GOST 32486-2015, "Fibre-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. Methods of Determination of Structural and Thermo-Mechanical Characteristics," Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2015, 24 pp.

24. GOST 16504-81, "The State System of Testing Products. Product Test and Quality Inspection. General Terms and Definitions," Gosstandart, Moscow, Russia, 1981, 24 pp.

25. SP 295.1325800.2017, "Concrete Structures Reinforced with Fibre-Reinforced Polymer Bar. Design Rules," Ministry of Construction, Housing and Utilities, Moscow, Russia, 2017.

26. SP 63.13330.2012, "Concrete and Reinforced Concrete Structures. General Provisions," Ministry of Regional Development, Moscow, Russia, 2011, 131 pp.

Selected for reader interest by the editors.

## Add to the **ACI** Knowledge Base



Publish an article in *Concrete International* and help further the mission of ACI with your technical expertise.

We're interested in case studies that will help our readers do their jobs. So if you've learned (even the hard way) how to design, construct, or repair a concrete structure better, faster, or more cost effectively, let us—and the ACI membership—know.

Submission guidelines are at:  
<https://www.concrete.org/publications/concreteinternational/submitanarticle.aspx>.

For further information, contact Keith Tosolt, Editor-in-Chief, at [keith.tosolt@concrete.org](mailto:keith.tosolt@concrete.org).

## Hormigón con polímeros reforzados con fibra (PRF) Alrededor del mundo, parte 2

*Iniciativas para la aceptación y correcta implementación  
Australia, Japón y Federación de Rusia.*

Este artículo, en su segunda parte, ofrece un panorama de las actividades destinadas a poner a disposición de la industria mundial de la construcción, la tecnología de los polímeros reforzados con fibras (FRP), para estructuras de hormigón. Esta secuencia está financiada por NEx: An ACI Center of Excellence for Nonmetallic Building Materials ([www.nonmetallic.org](http://www.nonmetallic.org)) y fue coordinado por Antoni Nanni, de la Universidad de Miami, Coral Gables, FL. USA. Los autores representan a los países contemplados en cada artículo. Para la segunda parte, incluyen:

Australia: Allan Manolo;

Japan: Hiroschi Mutsuyoshi, Naoki Nagamoto y Makoto Murata; y

Federación de Rusia: Andry E. Lapshinov and Egor Litvinov.

### Australia

El uso de barras de plástico reforzado con fibra de vidrio como refuerzo interno en estructuras de hormigón, donde la corrosión del acero es una de las principales preocupaciones, ha ganado cada vez más aceptación gracias a los esfuerzos de investigación y desarrollo de los últimos 10 años. Estos avances también han dado lugar a múltiples aplicaciones de campo de los polímeros reforzados con fibra de vidrio (PRFV) en estructuras de hormigón, lo que demuestra la creciente confianza de esta tecnología en Australia. Las barras de PRFV se han utilizado principalmente como refuerzo

en estructuras de hormigón expuestas a duras condiciones ambientales. Además, alrededor del 20% del mercado se destina a aplicaciones eléctricas y magnéticas no conductoras, como los bucles de señales ferroviarias, las instalaciones de resonancia magnética (MRI) y los edificios de investigación nuclear. Ejemplos de aplicaciones recientes es la construcción que utiliza cemento para el muelle de Pikenba en Brisbane, que considera la mayor cantidad de barras PRFV utilizadas en Australia, en una sola aplicación (esto es, 305.000 m [1 millón de pies] de barras de 16, 19 y 22 mm de diámetro [nº 5, 6 y 7]).

Las barras de PRFV se utilizaron en la construcción del edificio Molecular Horizons de la Universidad de Wollongong, que requiere neutralidad electromagnética en sus equipos eléctricos para investigaciones que requieren cuidado por su alta sensibilidad. En este proyecto se utilizó un total de 100.000m de barras de PRFV en pilotes de 14m de profundidad, así mismo se utilizó en encepados, losas a nivel del terreno, columnas, muros hasta el segundo piso y en la losa suspendida del primer piso. El uso de las barras PRFV están direccionadas para; infraestructuras marinas, prefabricados de hormigón que van a estar expuestas a entornos agresivos, y donde requieran neutralidad eléctrica. Por ejemplo, un programa de colaboración entre la Universidad del Sur de Queensland y el Departamento de Transporte y Carreteras de Queensland está explorando los beneficios de las barras



de PRFV en la navegación y la infraestructura marina. Este programa colaborativo tiene como resultado la aprobación de prefabricados de PRFV reforzados con concreto (RC) para la elaboración de rampas para barcos (tipo RG4000 PRF) en el estado de Queensland<sup>1</sup>. Se estima que, entre 2012 y 2018, hubo más de 2,5 millones de metros lineales de barras de PRFV instaladas en proyectos de construcción en toda Australia. En general, el valor del mercado de las barras de PRFV para el año 2017, fue de unos 5,0 millones de dólares australianos, y se prevé que aumente un 13% por año.<sup>2</sup>

## Diseño

El Código de Construcción de Australia<sup>3</sup> admite el uso de códigos internacionales para el refuerzo de FRP bajo la disposición de soluciones de diseño alternativas. Por lo tanto, los ingenieros y propietarios de activos en Australia se han remitido a los códigos y directrices internacionales (ISO 10406-1:2015,<sup>4</sup> ACI 440.6-08(22),<sup>5</sup> ASTM D7957/D7957M-17,<sup>6</sup> CSA S806-12 (R2017)<sup>7</sup> y CSA S807:19<sup>8</sup>), para los ensayos de materiales y la cualificación de las barras de PRFV, así como el diseño y la construcción de proyectos de infraestructuras con barras de PRFV. Estas normas y directrices internacionales se utilizan en el diseño y la construcción de la mayoría de los proyectos, con referencia a las normas de carga y pautas de diseño australianas.

## Adquisiciones

La mayoría de las barras de PRFV disponibles en el mercado australiano son importadas. Estas barras son distribuidas por varios proveedores a los contratistas y, a veces, directamente a los propietarios de los proyectos. Estas barras de PRFV disponibles en el mercado son barras macizas circulares o redondas fabricadas según la norma ASTM D7957/ D7957M-17 y CSA S807:19. Del mismo modo, las barras de PRFV están disponibles en diámetros nominales que van de 3 a 40 mm (de 0,1 a 1,6 pulgadas), que son tamaños estándar en las normas ASTM y CSA.

## Recursos técnicos adicionales

Curso disponible: Sistemas de polímeros reforzados con fibra (FRP) para reforzar estructuras (serie de tres partes)

Curso disponible: Diseño y construcción con Barra de polímero reforzado con fibra (FRP) (serie de dos partes)

Curso disponible: Aplicaciones de campo de los métodos no convencionales de refuerzo y consolidación para puentes y estructuras

Visita: [www.concrete.org/education/aciuniversity.aspx](http://www.concrete.org/education/aciuniversity.aspx).

Sin embargo, la mayoría de las barras investigadas y utilizadas tienen diámetros que van de 6 a 25 mm (nº 2 a 8).

Además, la mayoría de las barras de FRP utilizadas en proyectos e investigadas por diferentes universidades en Australia están hechas de fibras de vidrio electrónicas y resina de éster de vinilo, y ahora se están introduciendo barras de PRF de basalto (BFRP).

## Garantía de calidad (ámbito de aceptación)

Un problema importante en Australia es cómo garantizar la calidad de las barras de PRFV disponibles en el mercado. La revisión de la práctica actual realizada por Manalo et al.<sup>2</sup> mostró que el mercado de PRF es diverso. Aunque estos productos se comercializan como si fueran iguales, las propiedades de las barras de PRFV tienden a variar significativamente, dependiendo del fabricante y de los tipos de barras. Sin embargo, es importante que las barras disponibles en Australia tengan características que cumplan los límites de CSA S807:19 y ASTM D7957/D7957M-17, para asegurar a los ingenieros y propietarios de proyectos la calidad de las barras de FRP que están utilizando. La evaluación de la práctica actual proporcionó una decisión basada en la información para la organización de normas en Australia (Standards Australia) sobre el desarrollo de una norma o especificaciones para garantizar la calidad de las barras de FRP. En la actualidad, el comité técnico de Standards Australia BD-108, Fibre-Reinforced Polymer Composite Bars, está desarrollando las especificaciones de materiales

para las barras de FRP con el fin de garantizar la calidad estructural y el grado de las barras para su uso como refuerzo interno de los componentes de hormigón en las estructuras.

Esta norma de materiales proporcionará los requisitos mínimos de las características geométricas, materiales, físicas, mecánicas y de durabilidad de las barras de PRFV para garantizar su uso eficaz como refuerzo interno en las estructuras de hormigón. Al mismo tiempo, los miembros del comité técnico BD-002 de Standards Australia, Estructuras de hormigón, están trabajando para incluir el diseño de estructuras de hormigón con barras de PRFV. Estas iniciativas ofrecerán la oportunidad de liderar e influir en el uso efectivo de las barras de PRFV como material de refuerzo alternativo en las infraestructuras civiles australianas.

Mientras tanto, el Ministerio de Transporte de Nueva Gales del Sur ha publicado recientemente una guía técnica sobre el diseño de pavimentos de hormigón armado continuo con barras de GFRP en los circuitos de tráfico. Y el Departamento de Transportes y Carreteras de Queensland ha redactado una especificación técnica para el suministro, la fabricación y la colocación de barras de refuerzo de PRFV, abierto a debate público. Estas guías y especificaciones técnicas permiten a las empresas de transporte empezar a especificar el uso de barras de PRFV en sus proyectos de infraestructura hasta la aprobación y publicación de la especificación de las normas de Australia.

## Japón

Con las ventajas de no oxidarse, ser muy resistente y ligero, el FRP producido por impregnación de fibras de carbono, aramida, vidrio o basalto con resina ha atraído la atención como refuerzo alternativo a las barras de acero y al acero de pretensado. El puente de Shinmiya (con una longitud de vano de 6,1 m) se construyó en 1988 como el primer puente del mundo en el que se utilizó FRP de carbono (CFRP) para los tendones de pretensado. La Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (JSCE) publicó en 1996 la "Recomendación para el diseño y la construcción de estructuras de hormigón con materiales de refuerzo de fibra continua"<sup>9</sup>

La recomendación de la JSCE fue el primer conjunto de directrices del mundo que estipulaba el diseño, la construcción y los métodos de prueba para aplicar el FRP a las estructuras de hormigón. Sin embargo, no ha sido revisado y sigue en uso. Recientemente, el Instituto Japonés de Hormigón Pretensado (JPCI) estableció nuevas recomendaciones.<sup>10</sup> El nuevo documento está tanto en japonés como en inglés, e incorpora los últimos resultados de la investigación sobre la base de la recomendación del JSCE.

## Recomendaciones para diseño y construcción

Las recomendaciones del JPCI se aplican al diseño, la construcción y el mantenimiento de estructuras de CR y de hormigón pretensado (PC) que utilizan FRP como refuerzo o tendones de pretensado. Los tipos de PRF incluyen varillas de fibra de carbono, aramida o basalto impregnadas de resina. Con el fin de proporcionar a los diseñadores, contratistas y clientes información útil, la recomendación del JPCI incluye materiales de referencia sobre (a) el diseño de prueba de los puentes que utilizan PRF y un ejemplo de cálculo de los costes del ciclo de vida; (b) las normas de calidad y los métodos de prueba de rendimiento para los materiales PRF; y (c) las características detalladas de los materiales, los detalles estructurales y los ejemplos de aplicación para cada material de barras PRF discutido en el texto principal del documento. En el cuadro 1 figuran los títulos de los capítulos.

El **capítulo 1** incluye el ámbito de aplicación, el principio básico de diseño, los requisitos para las estructuras, la definición de términos, la notación y las normas relacionadas. El ámbito de aplicación de la recomendación del JPCI incluye las estructuras de hormigón con barras de refuerzo y acero de pretensado sustituidas total o parcialmente por FRP, como es el caso de la recomendación del JSCE.

El **capítulo 2** incluye los conceptos básicos de diseño, construcción, mantenimiento, vida útil de diseño y métodos de verificación del rendimiento de acuerdo con las normas de nivel superior.<sup>11</sup>

El **capítulo 3** presenta las disposiciones básicas relacionadas con los materiales necesarios para garantizar el rendimiento requerido de las estructuras de hormigón; los métodos de ensayo para establecer las características mecánicas de los FRP, como la resistencia, el módulo de Young y el índice de relajación; y los valores de diseño de los respectivos materiales FRP. Dado que el FRP es un material compuesto formado por fibras como materiales del núcleo y polímero (resina), el capítulo 3 también explica que cuando el FRP se expone a altas temperaturas existe la posibilidad de que se reduzca la adherencia debido al ablandamiento del polímero.

El **capítulo 4** presenta los tipos y combinaciones de acciones que se pueden establecer en cada estado límite.

En el **capítulo 5** se estipulan los elementos sujetos a la verificación del rendimiento y los análisis estructurales que deben realizarse.

El **capítulo 6** describe los métodos para verificar la seguridad de las estructuras de hormigón con armadura PRF frente al momento de flexión, el esfuerzo cortante y la torsión en un estado límite último.

En el **capítulo 7** se describen los métodos de verificación del rendimiento para la seguridad de las estructuras de hormigón con armadura de PRF frente a tensiones, grietas, desplazamientos, deformaciones y vibraciones en un estado límite de servicio. En cuanto a las fisuras, a diferencia de la armadura de acero, la armadura de PRF no tiene problemas de corrosión por infiltración de humedad o cloruros.

Por lo tanto, la recomendación del JPCI estipula los valores límite de la anchura de las grietas teniendo en cuenta el aspecto exterior y la estanqueidad con referencia a las últimas normas internacionales. Hay que tener en cuenta que, dado que el PRF tiene un módulo de Young menor que el del acero, las estructuras de hormigón

que utilicen refuerzos de PRF pueden tener grandes deformaciones si no hay suficiente refuerzo.

En el **capítulo 8** se describen los métodos de verificación del rendimiento para la seguridad de las estructuras de hormigón con armadura PRF en un estado límite de fatiga. El uso de PRF como cables externos para reforzar estructuras de hormigón existentes o nuevas requiere la verificación de la durabilidad a través de ensayos de fatiga asumiendo una tensión variable en los tendones en las secciones de anclaje porque la resistencia a la fatiga en las secciones de anclaje es menor que la resistencia a la fatiga del PRF en general. Además, la recomendación del JPCI requiere la confirmación de la seguridad contra la fatiga por rozamiento del refuerzo de PRFV en las secciones deformadas, donde pueden producirse tensiones de contacto y movimientos laterales.

**Tabla 1: Índice de la recomendación de la JPCI10**

Capítulo	Título
1	Disposiciones
2	Puntos básicos para el diseño, la construcción y el mantenimiento
3	Materiales
4	Acciones
5	Verificación de resultados
6	Estado del límite final
7	Estado límite de servicio
8	Estado límite de fatiga
9	Durabilidad
10	Diseño sísmico
11	Detalles estructurales
12	Construcción
13	Mantenimiento
Ref. 1	Ejemplos de diseño de pruebas
Ref. 2	Normas de calidad y métodos de ensayo
Ref. 3	Datos prácticos sobre los PRFV

En el **capítulo 9** se especifican los requisitos de los exámenes de durabilidad. El capítulo presenta el agua, el ambiente alcalino y la radiación ultravioleta como factores que

generalmente afectan a la durabilidad del refuerzo de PRF. Es probable que la resistencia a la tracción del PRF se reduzca si se expone durante mucho tiempo a un entorno alcalino bajo altas temperaturas. Por lo tanto, la recomendación del JPCI exige que las estructuras de hormigón se diseñen teniendo en cuenta la tasa de retención de la resistencia a la tracción del refuerzo de PRF.

En el capítulo 11 se describen los detalles estructurales, como el recubrimiento de hormigón, las cantidades de acero requeridas, la disposición, las formas y los anclajes necesarios para el diseño de estructuras de hormigón utilizando PRF como refuerzo o tendones. Cuando se utilizan barras de PRF dobladas como alternativa a las barras de acero, como se muestra en la Fig. 1, es necesario examinar la posible reducción de la resistencia en las curvas. Dado que se ha confirmado que las partes dobladas de los tendones de PRF son más débiles, es necesario verificar la seguridad mediante experimentos, como se muestra en la Fig. 2.

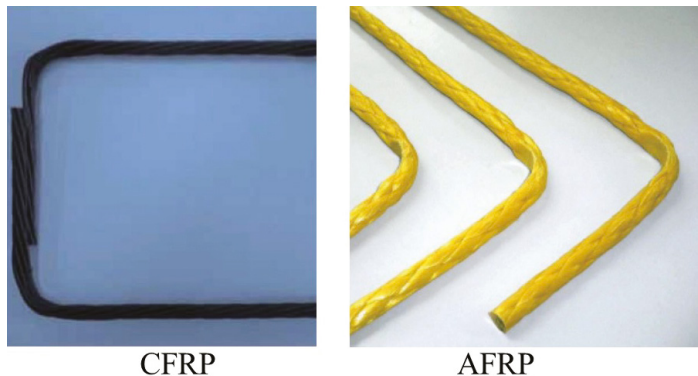


Figura 1: Ejemplo de flexión y moldeo de FRP de carbono y aramida (CFRP y AFRP, respectivamente)

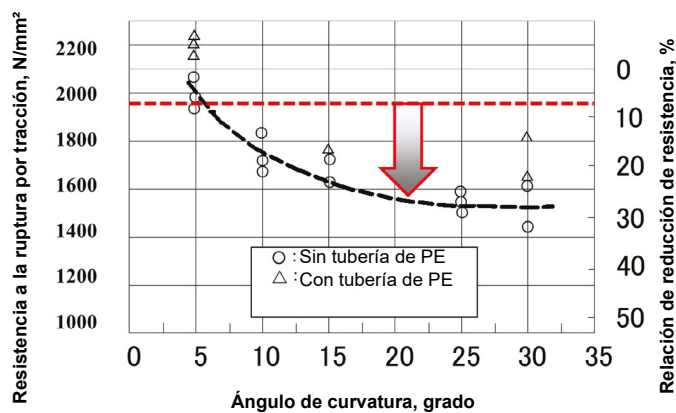


Figura 2: Relación entre el ángulo de curvatura y la resistencia a la tracción de refuerzo de PRFC.

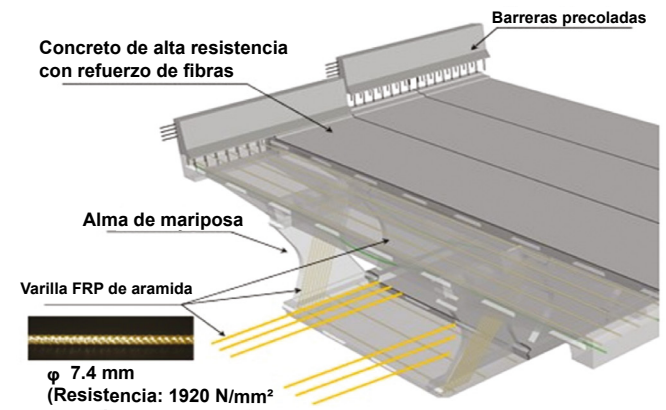


Figura 3: Concepto de punte no metálico (Nota: 1 mm = 0.04 in.; 1 N/mm² = 145 psi)

Las referencias abordan lo siguiente:

- Se introducen los diseños de prueba y los costos del ciclo de vida de los puentes de PC para los puentes que incorporan FRP como tendones de pretensado. Se realizan diseños de prueba para: (a) una losa de PC utilizando FRP de aramida (AFRP); (b) un puente de viga de losa simple de PC pretensada utilizando AFRP; (c) un puente de viga de losa simple de PC pretensada utilizando PRFC; y (d) un puente de viga de PC postensada utilizando PRFC;
- Las normas de calidad se estipulan sobre la base de la revisión de las normas existentes y se describen nuevos métodos de ensayo de FRP: (a) Método de ensayo de las propiedades de tracción de las porciones dobladas de FRP; (b) Método de evaluación de la resistencia a los álcalis del FRP; y (c) Método de ensayo de la resistencia a los álcalis del FRP con respecto a las condiciones de temperatura durante el curado del hormigón; y
- Los datos prácticos sobre los PRFV incluyen las especificaciones de los productos, las propiedades mecánicas, los resultados de las pruebas de durabilidad, los detalles estructurales y el rendimiento real de cuatro tipos de PRFV utilizados actualmente en la construcción. También se proporcionan las dimensiones y diversos valores característicos de los cuatro tipos de FRP.

## Puente Bessodani

Como respuesta a la necesidad de puentes de hormigón en entornos extremadamente corrosivos, West Nippon Expressway Co., Ltd. y Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd. han



estado desarrollando un concepto de puente no metálico desde 2010,<sup>12,13</sup> con el objetivo de proporcionar una solución radicalmente innovadora para abordar el deterioro debido a la corrosión del acero. Esta solución tecnológica se utilizó en el puente de Bessodani, en la autopista de Tokushima, en 2020.

Un puente no metálico en el que elimina el uso de todos los elementos de acero, incluidas las barras de refuerzo y los cables de acero para el pretensado, y tiene una superestructura formada únicamente por materiales no corrosivos. Sin el deterioro debido a la corrosión del acero, este nuevo tipo de estructura puede utilizarse potencialmente sin mantenimiento durante mucho tiempo. Además, se espera que la tecnología tenga un menor impacto climático porque no será necesario renovar los puentes y las emisiones de gases de efecto invernadero se limitarán únicamente al periodo inicial de construcción. La figura 3 muestra el concepto estructural del puente no metálico. La estructura es un puente de PC compuesto por hormigón reforzado con fibras de alta resistencia y varillas de PRFA. Las varillas PRFA se colocan en el interior y el exterior de los elementos como cables de pretensado para reforzar los momentos de flexión y las fuerzas de tracción. Se ha desarrollado una mezcla de hormigón reforzado con fibras de alta resistencia que utiliza tanto áridos gruesos como fibras cortas para conseguir una resistencia al cizallamiento superior al doble de la del hormigón ordinario de alta resistencia.

El hormigón también tiene una alta resistencia a la tracción. La estructura del alma está compuesta por paneles de hormigón en forma de mariposa, lo que permite un diseño eficiente con un peso reducido de la viga. Los paneles de hormigón prefabricado en el alma contienen barras de PRFA orientadas en diagonal para transferir las fuerzas de corte.

El puente de Bessodani<sup>14</sup> es un puente de 25,5 m (84 pies) de longitud, con un solo vano de vigas cajón de alma de mariposa, con una anchura efectiva de 10,66 m (35 pies) y una profundidad de viga de 2,8 m (9 pies). El puente se compone de 12 segmentos fabricados en planta. Sin embargo, debido a los límites de peso del transporte en las

carreteras públicas, el plan de construcción preveía que los segmentos de soporte final de los extremos se fabricaran en tres secciones, se transportaran a la obra y se unieran con cables tensados transversalmente. Por la misma razón, el hormigón para el relleno de los travesaños de soporte final y para los tabiques de desviación se ha vertido in situ. Para los cables principales, se utilizaron nueve barras de PRFA de 7,4 mm de diámetro para un solo cable, y se dispusieron 34 cables para formar la estructura del tensor externo, que se diseñó para estar totalmente pretensado.

El puente Bessodani<sup>14</sup> es la primera aplicación en el mundo del puente no metálico para carreteras, una tecnología que mejora la durabilidad estructural para reducir a futuro, la carga del mantenimiento. Al eliminar la necesidad de grandes trabajos de mantenimiento y renovación durante su vida útil, cabe esperar que este puente extremadamente duradero tenga también un impacto medioambiental positivo al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

West Nippon Expressway y Sumitomo Mitsui Construction tienen previsto aplicar esta tecnología a otros proyectos.<sup>15</sup> Actualmente, la losa no metálica del tablero desarrollada a través de esta investigación conjunta, se ha aplicado a la sustitución del tablero de un puente de vigas de acero en un proyecto de renovación de una autopista a gran escala (Fig. 4).



Figura. 4: Concepto de puente no-metálico (Nota: 1 mm = 0.04 in.; 1 N/mm<sup>2</sup> =145 psi)

## Federación de Rusia

El primer código de diseño del mundo (recomendaciones P-16-78<sup>16</sup>) para estructuras reforzadas con PRFV apareció en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) en 1978; sin embargo, sólo se refería a barras pretensadas de 6 mm. Muchos proyectos piloto (es decir, tres puentes, brazos de ménsula sin aislantes de los soportes de las líneas de transmisión eléctrica y columnas de aislamiento de las líneas de transmisión de alta y extra alta tensión) se construyeron utilizando este código.

El refuerzo de FRP se mencionó por primera vez en la Rusia moderna en 2003 en el código de diseño para estructuras de CR SP 52-101-2003,<sup>17</sup> pero este documento no contenía ninguna guía de diseño. En 2013, la Asociación Nacional de Constructores aprobó un documento informativo (STO NOSTROY 2.6.90-2013<sup>18</sup>) para el refuerzo deformado de FRP de secciones transversales sólidas y huecas hecho de fibras de vidrio o basalto.

Este documento establece los requisitos para el uso de refuerzos compuestos en estructuras de hormigón, mampostería, estructuras geotécnicas, en la construcción residencial y en las infraestructuras de transporte. Actualmente, el documento principal para el refuerzo de PFV en la Federación Rusa es GOST 31938-2012.<sup>19</sup>, establece las especificaciones generales y cubre los elementos deformados de polímeros compuestos diseñados para el refuerzo de elementos de RC y PC construidos en entornos agresivos y que cumplen con los requisitos de resistencia y seguridad contra incendios especificados en GOST 30247.0-94<sup>20</sup> y GOST 30403-2012,<sup>21</sup> respectivamente. GOST 32492-2015<sup>22</sup> establece métodos para la determinación de las características físicas y mecánicas del refuerzo de FRP, mientras que GOST 32486-2015<sup>23</sup> establece métodos para la determinación de las características estructurales, térmicas y mecánicas del refuerzo de FRP.

El proceso de fabricación de refuerzos de FRP más común en Rusia es la pultrusión, aunque ninguno de los documentos normativos restringe el uso de ningún otro método de fabricación. La armadura de FRP sólo puede ser de sección redonda. De acuerdo con GOST 31938-2012, el diámetro nominal será de 4 a 32 mm (0,16 a 1,26 pulgadas); sin embargo, también se permite la fabricación de armaduras de FRP de otros diámetros nominales, siempre que cumplan los requisitos de la norma. El refuerzo de FRP de un diámetro nominal de 4 a 8 mm (0,16 a 0,31 pulgadas) puede suministrarse en rollos. Las barras de FRP tienen deformaciones superficiales para una mejor unión con el hormigón. Las deformaciones superficiales pueden formarse mediante el enrollamiento de la fibra continua en la barra o mediante la realización de espigas y nervios por hendiduras del núcleo de barra. El perfil de la superficie también puede incluir una capa de arena aplicada sobre la barra, siempre que se cumplan los requisitos de GOST 31938-2012. El cuadro 2 muestra una comparación de las especificaciones de los materiales según GOST 31938-2012, su propuesta de revisión de 2021, y las de ASTM D7957/D7957M-17.

Para verificar el cumplimiento del refuerzo de PFV con los requisitos de la norma, deben realizarse las siguientes pruebas de acuerdo con GOST 16504-81<sup>24</sup>:

- Pruebas de aprobación de cada lote;
- Pruebas periódicas a intervalos de 6 meses durante el primer año de fabricación y de 1 año a partir de entonces; y
- Pruebas rutinarias de control de calidad (QC).

El cumplimiento de los refuerzos de PRF, actualmente es mediante una certificación voluntaria. La certificación de los productos también puede llevarse a cabo para verificar el cumplimiento de los requisitos de las normas internacionales y las normas nacionales vigentes. Esta certificación se realiza por iniciativa del fabricante o a petición del cliente. Los fabricantes también pueden producir barras de refuerzo de PFV de acuerdo con sus propias especificaciones técnicas, denominadas TU. Las TU pueden especificar un rendimiento de las barras inferior al establecido por GOST. Así, un diámetro medido puede determinarse no por una barra sino por su

bobinado. Las TU también pueden contener un nivel de rendimiento inferior para la resistencia a la tracción final y la resistencia a los álcalis. Las barras de refuerzo fabricadas de acuerdo con las TU sólo pueden utilizarse en elementos no estructurales (no portantes).

Durante el período de construcción en de la ciudad, el ingeniero (u otra organización autorizada), selecciona especímenes de barras de refuerzo en la obra para realizar pruebas para la determinación de las principales características físicas y químicas (es decir, el diámetro nominal, la resistencia a la tracción y la adherencia del hormigón). Las pruebas deben ser realizadas por un laboratorio certificado independiente y los valores obtenidos deben compararse con los requeridos por el diseño del proyecto. En caso de que los valores obtenidos en los ensayos no se ajusten a los requisitos especificados en los valores de diseño del proyecto, el ingeniero del proyecto debe ajustar el diseño en función de las características reales del material.

**Tabla 2: Comparación de los requisitos de material GOST y ASTM D7957/D7957M-17 para el refuerzo de PFV**

Propiedades	GOST 31938-2021		GOST 31938-2012		ASTM D7957/D7957M-17
	GFRP	BFRP	GFRP	BFRP	GFRP
Contenido en masa de fibra, %, no menos de	8		7		7
Resistencia nominal a la tracción, $\sigma_B$ , MPa	1000		800		de 533 a 843 (depende del diámetro de la varilla)
Módulo de elasticidad medio nominal, $E_f$ , MPa, no inferior a	50,000		50,000		44,800
Resistencia garantizada al corte transversal, $\tau_{sh}$ , MPa, no inferior a	150		150		131
Resistencia nominal a la compresión, $\sigma_{BC}$ , MPa, no inferior a	300		300		—
Resistencia a la adhesión garantizada, $\tau_B$ , MPa, no inferior a	12		12		7.6
Disminución de la resistencia a la tracción tras la exposición a condiciones alcalinas, $\Delta\sigma_B$ , %, no más	20 (30 días a 60°C)		25 (30 días a 60°C)		20 (90 días a 60°C)
Resistencia de la unión garantizada tras el envejecimiento en un entorno alcalino, $\tau_{B1}$ , MPa, no inferior a	10		10		—
Temperatura media de transición vítrea, $T_g^*$ , °C, no menos de	90		—		100
Grado medio de curación, %.	—		—		9
Límite de temperatura de funcionamiento, $T_3$ , °C,	90		60		—
Porosidad lateral	No se permite la penetración del tinte en 15 minutos		—		—
Absorción de humedad en 24 h a 50°C, %, no más de	0		—		0.25
Absorción media de humedad hasta la saturación, %, no más de	—		—		1 (hasta la saturación a 50°C)

En Rusia, los documentos normativos para el refuerzo de FRP se desarrollan en colaboración con el comité técnico de normalización TK 465, Stroitelstvo (Construcción). Además, las estructuras de PFV-RC se diseñan de acuerdo con el Código de Práctica, SP 295.1325800.2017,<sup>25</sup> que entró en vigor en 2018. Desde julio de 2015 y hasta ese momento, el anexo L de SP 63.13330.2012<sup>26</sup> estaba en vigor. Hay que tener en cuenta que

los métodos de diseño de las estructuras de PFV-RC en 2015 utilizaban coeficientes de seguridad elevados, que posteriormente fueron revisados y rebajados como se refleja en otro documento SP295.1325800.2017. Desde junio de 2021, está en vigor la enmienda nº 1 al SP295.1325800.2017. La modificación se introdujo en los cálculos de la resistencia a las grietas y la anchura de las mismas.

Hay que tener en cuenta que este código de buenas prácticas sólo cubre el diseño de construcciones industriales y civiles expuestas a cargas estáticas y no cubre las infraestructuras de transporte y los puentes. Todavía no se han aceptado las normas para el diseño de puentes de PFV-RC y otras estructuras sometidas a cargas dinámicas.

El diseño de las estructuras reforzadas con PFV de acuerdo con la norma SP 295.1325800.2017 se realiza para dos estados límite: estado límite último y estado límite de servicio. La norma SP 295.1325800.2017 cubre el diseño de estructuras de CR reforzadas con barras de refuerzo de PFV de carbono, aramida, basalto o vidrio. También se pueden utilizar refuerzos de PFV híbridos (por ejemplo, fibras de vidrio y de carbono).

El cálculo de la resistencia de las estructuras de PFV-RC se realiza para:

Secciones normales (bajo la acción de momentos de flexión y fuerzas longitudinales);

Secciones oblicuas (bajo la acción de fuerzas transversales); y

Acción local de la carga (compresión local o punzonamiento). La norma SP 295.1325800.2017 también especifica las proporciones mínimas de refuerzo, los requisitos estructurales y los detalles de diseño.

## Referencias

1. Manalo, A.C.; Mendis, P.; Bai, Y.; Jachmann, B.; and Sorbello, C.D., "Fiber-Reinforced Polymer Bars for Concrete Structures: State of-the-Practice in Australia," *Journal of Composites for Construction*, ASCE, V. 25, No. 1, Feb. 2021.
2. Manalo, A.C.; Alajarmeh, O.; Cooper, D.; Sorbello, C.D.; Weerakoon, S.Z.; and Benmokrane, B., "Manufacturing and Structural Performance of Glass-Fiber-Reinforced Precast-Concrete Boat Ramp Planks," *Structures*, V. 28, Dec. 2020, pp. 37-56.
3. "The Building Code of Australia," National Construction Code Series, Australian Building Codes Board (ABCB), Canberra, ACT, Australia, 2015.
4. ISO 10406-1:2015, "Fibre-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement of Concrete—Test Methods—Part 1: FRP Bars and Grids," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2015, 39 pp.
5. ACI Committee 440, "Specification for Carbon and Glass Fiber Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement (ACI 440.6-08 (ACI 440.6-08) (Reapproved 2022)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008, 6 pp.
6. ASTM D7957/D7957M-17, "Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 5 pp.
7. CSA S806-12 (R2017), "Design and Construction of Building Structures with Fibre-Reinforced Polymers," CSA Group, Toronto, ON, Canada, 2012, 206 pp.
8. CSA S807:19, "Specification for Fibre-Reinforced Polymers," CSA Group, Toronto, ON, Canada, 2019, 67 pp. 52 JUNE 2022 | Ci | [www.concreteinternational.com](http://www.concreteinternational.com)
9. JSCE Research Subcommittee on Continuous Fiber Reinforcing Materials, "Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials (Translation from the Concrete Library No. 88 published by JSCE, September 1996)," Concrete Library of JSCE No. 31, Japan Society of Civil Engineers (JSCE), June 1998, 64 pp.
10. "Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Fiber Reinforced Polymer," Japan Prestressed Concrete Institute (JPCI), Tokyo, Japan, 2021.
11. "Technical Standards for Concrete Structures: Performance Creative Design, Construction and Maintenance," Japan Prestressed Concrete Institute (JPCI), Tokyo, Japan, 2019.
12. Ohshiro, T.; Matsui, T.; Kasuga, A.; and Nagamoto, N., "Development of Non-Metal Bridge," Proceedings of the Fourth International fib Congress 2014, Mumbai, Mumbai, India, Feb. 10-14, 2014.
13. Fukunaga, Y.; Ohshiro, T.; Matsui, T.; Kasuga, A.; Asai, H.; and Nagamoto, N., "Development of Non-Metal Bridge Contributed High Durability," Proceedings of IABSE Conference Nara 2015, Nara, Japan, May 13-15, 2015, pp. 416-417.
14. Wada, Y.; Fuji, Y.; Ashizuka, K.; Sanga, T.; and Fujioka, T., "Construction of Actual Non-Metal Bridge," Proceedings of the fib Symposium 2020, Shanghai, China, Nov. 22-24, 2020.
15. Fukuda, M.; Ashizuka, K.; Karino, T.; and Kasuga, A., "Experimental Study on Fatigue Durability of Ultra High Durable Slab," Proceedings for the 2018 fib Congress Held in Melbourne, Australia, Melbourne, Australia, Oct. 7-11, 2018.
16. P-16-78, "Recommendations for Design of GFRP Reinforced Structures," NIIZhB of Gosstroy of USSR, Moscow, Russia, 1978, 17 pp. 17. SP 52-101-2003, "Concrete and Reinforced Concrete Structures without Prestressing," Gosstroy of Russia, Moscow, Russia, 2003, 59 pp. (in Russian)
18. STO NOSTROY 2.6.90-2013, "Applications in Concrete Construction and Geotechnical Structures of Non-Metallic Composite Reinforcement," National Association of Builders, Moscow, Russia, 2014, 115 pp. (in Russian)



19. GOST 31938-2012, "Fiber-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. General Specifications," Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2012, 40 pp.

20. GOST 30247.0-94, "Elements of Building Constructions. Fire-Resistance Test Methods. General Requirements," Ministry of Construction of Russia, Moscow, Russia, 1995, 11 pp.

21. GOST 30403-2012, "Building Structures. Fire Hazard Test Method," Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2012, 16 pp.

22. GOST 32492-2015, "Fibre-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. Determination of Physical-Mechanical Properties," Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2015, 20 pp.

23. GOST 32486-2015, "Fibre-Reinforced Polymer Bar for Concrete Reinforcement. Methods of Determination of Structural and Thermo Mechanical Characteristics," Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, Moscow, Russia, 2015, 24 pp.

24. GOST 16504-81, "The State System of Testing Products. Product Test and Quality Inspection. General Terms and Definitions," Gosstandart, Moscow, Russia, 1981, 24 pp.

25. SP 295.1325800.2017, "Concrete Structures Reinforced with Fibre-Reinforced Polymer Bar. Design Rules," Ministry of Construction, Housing and Utilities, Moscow, Russia, 2017.

26. SP 63.13330.2012, "Concrete and Reinforced Concrete Structures. General Provisions," Ministry of Regional Development, Moscow, Russia, 2011, 131 pp.



La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Ecuador Centro y Sur

*Título: Hormigón con polímeros reforzados con fibra (PRF) Alrededor del mundo, parte 2*



Traductor:  
Arq Edison Castillo PhD



Revisor Técnico:  
Ing. MSc. Santiago Vélez  
Guayasamín