DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2004.01.004

·学科进展与展望·

纤维塑料筋混凝土研究新进展

薛伟辰

(同济大学土木工程学院,上海 200092)

[摘 要] 纤维塑料筋是一种性能优越的高性能复合材料,适用于土木工程混凝土结构。与普通钢筋相比,纤维塑料筋具有抗拉强度高、抗腐蚀性能优良、重量轻、弹模低、抗剪和抗挤压强度低等特点。目前,纤维塑料筋在国外已成为结构工程领域研究热点。自2000年以来,在国家自然科学基金的资助下,我们较系统地开展了纤维塑料筋混凝土的试验与理论研究,本文介绍有关最新研究成果。

[关键词] 纤维塑料筋,粘结强度,混凝土梁,预应力,格栅筋

前 言

土木工程中最为量大面广的结构类型是混凝土结构。混凝土结构如果设计得当、构造合理、施工质量可靠,在正常环境条件下可具有良好的耐久性。但当上述条件不满足时,常常会因为钢筋锈蚀而影响结构使用性能、耐久性和安全性,从而造成重大的安全隐患。据国外资料介绍,美国每年因钢材锈蚀造成的损失高达700亿美元,目前美国近60万座桥梁中,有近10万座钢筋锈蚀严重。英国建造在海洋及含氯化物介质环境中的钢筋混凝土结构,因钢筋锈蚀需要重建或更换钢筋的占三分之一以上。在日本,由于较多地区采用海盐作为混凝土中的细骨料,使钢筋锈蚀成为一个严重问题。对冲绳地区177座桥梁和672栋房屋的调查表明,桥面板和混凝土梁的损坏率达到90%以上,校舍一类民用建筑的损坏率也在40%以上。我国在1981年对华南18座钢筋混凝土码头的调查表明,尽管使用期仅7—15年,但有16座码头的钢筋严重锈蚀。1984年对浙江镇海的22座中小型海工建筑物的调查表明,967根构件中由于钢筋锈蚀导致顺筋开裂破坏的有538根,占构件总数的56%。而进入21世纪,随着我国重大工程基本建设的不断开展,钢筋锈蚀问题将更加严重。

为解决钢筋混凝土中钢筋锈蚀和混凝土顺筋胀裂的问题,国内外学者从20世纪60年代开始研究对策,主要措施有[1]:(1)在钢筋混凝土表面涂敷防水涂料,阻隔并防止腐蚀介质渗透到混凝土中;(2)提高钢材自身的防腐性能,开发耐腐蚀性的钢筋,如不锈钢钢筋等;(3)开发新型纤维塑料筋、纤维塑料薄板等;(4)开发新型涂层钢筋,如镀锌钢筋、镀铝钢筋和环氧涂层钢筋等;(5)利用电气防腐方式,防止钢筋锈蚀;(6)在混凝土中掺加可以提高钢筋防腐性能的阻锈剂等。

国外学者经过30年的分析研究[2,3],认为采用纤维塑料筋(Continuous Fiber Reinforced Plastics,简称FRP筋)是行之有效的,无论从防腐性能、经济性、施工性还是从生产的难易程度来看,都已达到或接近实用阶段。FRP是由多股连续纤维(如玻璃纤维、碳纤维及阿拉米德纤维等)采用基底材料(聚酰胺树脂、聚乙烯树脂或环氧树脂等)胶合后,经过特制的模具挤压、拉拔成型的。与普通钢筋相比,FRP筋的主要特点是:(1)抗拉强度高,与高强钢丝不相上下;(2)抗腐蚀性能优良;(3)容重小,仅为钢材的25%左右;(4)FRP筋的热膨胀系数与混凝土相近;(5)弹性模量小,约为普通钢筋的25%—70%;(6)抗剪强度和抗挤压强度低,通常不超过其抗拉强度的10%,等等。

自20世纪80年代中期以来,欧美及日本等国

国家自然科学基金资助项目.
本文于2003年9月22日收到.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

开始采用纤维塑料筋这种新型人工纤维材料来代替钢筋,并大力开展了 FRP 筋的材料特性和结构性能研究[4]。1998 年在荷兰阿姆斯特丹召开的 FIP 大会上,FRP 筋被认为是最有生命力的新型材料之一受到了广泛的关注和研讨。2000 年,仅美国 FRP 筋的产值就超过了 1 亿美元,且呈迅速发展的势态,已成为重要的建材产业。我国在这方面的研究工作起步较晚,1995 年由水利部专门立项,我们首次开展了土木工程 FRP 筋的探索性研究。2000 年,在国家自然科学基金的资助下,我们进一步开展了土木工程 FRP 筋的应用研究,取得了较重要的研究进展。下面介绍有关最新研究成果(需要说明,以下这些研究工作均为国内首次开展)。

1　FRP 筋的粘结锚固性能

基于 33 个拉拔试件和 27 个梁式试件的试验结果,对 FRP 筋与不同环境介质(包括混凝土 C30、掺纤维与不掺纤维的混凝土 C50、R42.5 水泥浆以及环氧树脂等)之间的粘结性能进行了较为系统的研究与分析。研究表明[5,6]:

(1)破坏特征。FRP 筋发生粘结破坏时的滑移值较小,此时 FRP 筋的表面外缠肋依次与核心处 FRP 剥离,随后 FRP 筋的粘结强度迅速丧失,破坏前没有明显的预兆。而钢筋的粘结破坏则是由于钢筋表面变形肋之间的混凝土被压碎造成的,破坏前有着显著的滑移。

(2)拉拔试验与梁式试验的对比。梁式试件的 τ-S 曲线在达到峰值点后的下降段较拉拔试件平缓,基于梁式试验的 FRP 筋的粘结强度略低于拉拔试验的结果。这是因为拉拔试件中 FRP 筋的表面外缠肋比梁式试件中受力更加均匀,几乎所有锚固段外缠肋同时发生破坏,而梁式试件中锚固段 FRP 筋表面外缠肋则为依次发生破坏。需要说明,这一结论与国外的有关研究成果是吻合的。以 FRP 筋与混凝土 C30 的粘结强度为例,本项目试验结果[6]与有关国外试验结果[7]的对比见表 1,可见二者吻合较好。

表 1　国内外试验结果对比

试验类别	本项目试验结果[6]	国外试验结果[7]
拉拔试验	11.8 MPa	11.5 MPa
梁式试验	11.0 MPa	11.3 MPa

(3)FRP 筋与混凝土之间的粘结强度略低于钢筋,而且随着混凝土强度等级的提高,二者的差别逐渐增大。结合我们的研究成果以及国外其他研究成果,在理论建模的基础上,本项目推导了 FRP 筋粘结强度的理论计算公式。

(4)FRP 筋与水泥浆之间的粘结强度较高,这将保证 FRP 筋与水泥浆体之间形成整体,从而为 FRP 筋在后张有粘结预应力混凝土结构中的应用提供依据。

(5)FRP 筋与环氧树脂之间的粘结强度很高,这一结论将为 FRP 筋预应力锚具的研制提供参考。

2　FRP 筋普通混凝土梁的受力性能

梁是混凝土结构中的基本构件之一。为研究 FRP 筋普通混凝土梁的受力性能,本项目共进行了 14 根 FRP 筋普通混凝土梁的试验研究与非线性全过程分析,研究结论有[5]:

(1)在试验破坏模式研究的基础上,提出了 FRP 筋普通混凝土梁受拉破坏和受压破坏模式下的正截面承载力理论计算公式。

(2)FRP 筋普通混凝土梁的裂缝间距为钢筋混凝土梁的 1.5 倍左右。FRP 筋普通混凝土梁的裂缝宽度和挠度的计算可按我国混凝土结构设计规范(GB 50010－2002)中的相应计算公式进行。

(3)由于 FPR 筋不存在腐蚀问题,FRP 筋普通混凝土梁的容许裂缝宽度取值有待研究。如美国规范 ACI 440 和加拿大规范规定对于室外结构最大容许裂缝宽度为 0.5mm,对于室内结构最大容许裂缝宽度为 0.7mm。而目前我国规范尚无具体规定。

3　预应力 FRP 筋混凝土梁的受力性能

本项目进行了有粘结与无粘结预应力 FRP 筋混凝土梁的试验研究与非线性全过程分析,主要研究结论如下[8]:

(1)有粘结预应力 FRP 筋混凝土梁的破坏形态为受压区混凝土压碎,同时预应力筋被拉断。无粘结预应力 FRP 筋混凝土梁的破坏形态为预应力筋被拉断,此时受压区混凝土进入塑性状态,但未被压碎。

(2)有粘结预应力 FRP 筋混凝土梁的有效预应力、正截面抗裂度以及正截面承载力的设计计算基本可按我国现行设计规范计算,但需要注意截面界限受压区高度 ξ_b 的正确取值问题。

(3)无粘结预应力 FRP 筋的有效预应力以及无粘结预应力 FRP 筋混凝土梁正截面抗裂度可按我国现行设计规范计算,但其正截面承载力按现行设

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

计规范计算有一定的误差,其机理有待进一步的研究。

4 FRP格栅筋混凝土板的受力性能

通过4块板的单调全过程试验对FRP格栅筋混凝土板的受力性能进行了研究[9]。试验参数包括:(1)配筋种类,分为普通钢筋和FRP格栅筋;(2)板的支承条件,分为四边简支(双向板)和两边简支(单向板)。试验结果表明,FRP格栅混凝土板的正截面承载力、最大裂缝宽度和挠度等均可按我国现行混凝土结构设计规范计算。

5 结束语

FRP筋具有很高的抗拉强度和优良的防腐性能,但对于其在土木工程中的应用技术,国内迄今缺乏研究。2000年,在国家自然科学基金的支持下,本项目较为系统地开展了FRP筋在土木工程中应用研究,取得了系列的研究成果。我们希望,通过本项目的研究以及相关研究成果的应用,可以从本质上解决土木工程混凝土结构中的钢筋锈蚀问题,从而提高土木工程结构的安全性和耐久性。这对于我国正在高速发展中的现代化基本建设事业是非常重要的。

参考文献

[1] 薛伟辰. 现代预应力结构设计. 北京:中国建筑工业出版社,2003.

[2] 薛伟辰. 混凝土结构中新型配筋FRP的试验研究. 南京:河海大学博士后研究工作报告,1997.

[3] 薛伟辰. 混凝土结构中新型防腐配筋的最新研究进展. 工业建筑, 1999,29(12): 1—4

[4] Nanni A. FRP Reinforcement for Concrete Structures. Elsevier Science Publishers, 1993.

[5] Xue Weichen. Studies of Concrete Structures with FRP Bars. International Conference on FRP Composite in Civil Engineering. Hong Kong, December 2001: 1 153—1 160.

[6] 薛伟辰,刘华杰. 不同试验方法对GFRP筋材粘结强度的影响研究. 玻璃钢/复合材料,2003,(5).

[7] Tighiouart B, Benmokrane B, Gao D. Investigation of bond concrete member with fiber reinforced polymer (FRP) bars. Construction and Building Materials. 1998,(12): 453—462.

[8] 薛伟辰. 新型FRP筋预应力混凝土梁的试验研究与有限元分析. 铁道学报,2003,(5).

[9] 刘华杰. 纤维塑料筋混凝土受弯构件试验研究与理论分析. 上海:同济大学硕士学位论文. 2003.

PROGRESS IN STUDIES ON FRP REBARS REINFORCED CONCRETE

Xue Weichen

(*Tongji University*, *Shanghai* 200092)

Abstract As one kind of high-performance composite materials in concrete structures of civil engineering, compared with ordinary steel rebars, fiber-reinforced-plastics (i. e. FRP) rebars have the characteristics of high tensile strength, antisepsis, light weight, low elastics modulus and low shear strength, etc. At present time, FRP rebars have been studied and applied in Europe, America and Japan. Since 2000, in the funds of Chinese NSFC, we have systematically carried out experimental and theoretical studies on FRP rebars. The progress of our research is briefly introduced in this paper.

Key words FRP rebars, Bond strength, Concrete beam, Prestressing, Grid rebar

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net