

玻璃纤维增强塑料(GFRP)筋混凝土梁斜截面受力性能

陈 达,江朝华,张 玮,廖迎娣

(河海大学交通学院,江苏 南京 210098)

摘要 为了解决在恶劣环境下海港等工程钢筋锈蚀所引起的混凝土结构耐久性问题,研究了将玻璃纤维增强塑料(GFRP)筋替代钢筋应用在混凝土结构中的技术,并以钢筋为对比,进行了 16 mm 的玻璃纤维增强塑料筋混凝土简支梁的三点抗弯、抗剪力学性能研究.结果表明 在裂缝开展之前,玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的变形略大于钢筋混凝土梁 裂缝开展后,玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的变形增长较快,呈现脆性破坏的特征.玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的开裂荷载只有钢筋混凝土梁的 72% 左右,剪压破坏荷载为钢筋混凝土梁的 77% 左右.

关键词 玻璃纤维增强塑料筋 抗剪性能 简支梁

中图分类号 :U654 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2007)05-0534-04

海工建筑物中的钢筋锈蚀问题已成为全世界普遍关注的一大问题,而海港码头的大跨度梁在跨中和支座部位由于受弯和受剪产生的裂缝,是导致局部配筋锈蚀、影响结构耐久性的重要原因.纤维增强塑料(fiber reinforced plastics,FRP)筋因其防腐性能优越、抗拉强度高、质量小、总体使用成本低等特点,成为海工结构中钢筋的理想替代品.而以玻璃纤维作为增强材料的玻璃纤维增强塑料(glass fiber reinforced plastics,GFRP)筋由于价格低、来源广、制作工艺成熟等特点,成为当前最具应用前景的钢筋替代材料.

国外已进行了较多的 FRP 筋混凝土的试验研究和工程应用.欧美、日本对 FRP 筋的研究均始于 20 世纪六七十年代^[1].1997 年日本编制出世界上第一个关于 FRP 材料的建筑混凝土结构设计指南.欧洲和美国也正在进行 FRP 筋混凝土结构设计规范的编制^[2],并已有部分工程应用实例^[3-6].我国近年来也对 FRP 材料应用技术与开发做了大量的工作,但主要集中在 FRP 片材或布材应用于混凝土破损结构的加固修复和结构补强的试验研究及工程应用^[7].由于 FRP 材料自身的特点,将其作为筋材应用在混凝土结构中应该重点解决其延性和抗剪能力较差的问题.国内的学者分别从不同的方面开展了研究工作,并取得了大量的成果^[8-12].

本文从玻璃纤维增强塑料筋的基本物理、力学性能出发,以钢筋材料为对比,进行玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的抗剪性能试验,研究玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁与钢筋混凝土梁力学性能的差异.

1 试验介绍

1.1 试验材料

混凝土的设计强度等级为 C25,选用 32.5R 普通硅酸盐水泥,水泥、砂、石子和水的质量按 1:2.41:4.29:0.63 的比例拌和.钢筋选用直径为 16 mm 的二级螺纹钢,相应的强度指标见表 1.

为了便于对比,选用南京某厂制造的与对比钢

表 1 材料力学参数

Table 1 Mechanical parameters of materials

筋材	直径/ mm	弹性模量/ GPa	抗拉强度/ MPa	抗剪强度/ MPa	抗压强度/ MPa
钢筋	16	200	490	403	340
玻璃纤维 增强塑料筋	16	42	532	198	198

收稿日期 2006-07-14

基金项目 江苏省基础研究计划(自然科学基金)资助项目(BK2007583) 河海大学科技创新基金资助项目(2013/406094) 河海大学引进人才科研启动基金资助项目(2084/40601152)

作者简介 陈达(1978—),男,福建福清人,讲师,博士,主要从事固体力学、港口航道及近海工程研究.

筋同直径的玻璃纤维增强塑料筋,通过 30 t 液压万能试验机测得其抗拉、抗剪、抗压强度(表 1)。由表 1 可见,同直径的玻璃纤维增强塑料筋的抗拉强度略高于钢筋,而其抗剪和抗压能力较普通钢筋低。

1.2 试验构件

试验构件采用 150 mm × 150 mm × 600 mm (高 × 宽 × 长)的矩形断面梁(图 1)。考虑到无腹筋梁较简单,导致斜截面破坏的因素较少,易于进行受力和破坏分析,所以在进行构件设计时只配 1 根无弯起的受拉筋,保护层厚度(h_0)取 30 mm。钢筋和玻璃纤维增强塑料筋的公称截面面积(A_s)为 201.1 mm²,配筋率为

$$\rho = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{201.1}{150 \times (150 - 30)} = 1.1\% > \rho_{\min}$$

当构件的配筋率在经济配筋率的范围内时,构件的设计比较经济,且受力性能比较好。矩形截面梁的经济配筋率范围为 0.6% ~ 1.5% [13],所以配筋满足经济配筋率的要求。

当构件的剪跨比 $\lambda \leq 1$ 时,梁发生斜压破坏;当剪跨比 $1 < \lambda < 3$ 时,梁发生剪压破坏;当剪跨比 $\lambda \geq 3$ 时,梁发生斜拉破坏[14]。剪压破坏有一定的预兆,且破坏时的荷载也比较高,是工程中常见的一种破坏形式。试验所用构件的剪跨比为

$$\lambda = \frac{a}{h_0} = \frac{250}{150 - 30} = 2.1$$

满足剪压破坏的要求。

1.3 试验设计

钢筋和玻璃纤维增强塑料筋混凝土构件各 1 组,每组 3 根试件,在养护 28 d 后开始试验,结果取平均值。采用 30 t 液压万能试验机对构件进行两点对称集中加载(图 1),用千分表测量加载过程中的跨中挠度值。正式加载前先进行预加载,以确保各测量仪表工作状态正常;然后手动控制试验机进行缓慢加载直到构件破坏。每加载 2.5 kN 记录一次数据,同时注意观察裂缝的开展情况,记录裂缝开始发生、迅速扩展和构件破坏时的荷载值。

2 试验结果、现象及其分析

2.1 试验现象

图 2 为钢筋混凝土梁和玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的破坏形态图。钢筋和玻璃纤维增强塑料筋 2 组 6 根梁都呈现出剪压破坏的特征。玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁剪压破坏形态与普通钢筋混凝土梁基本相似:当加大荷载至开裂荷载时,首先在梁的底部出现一条纵向裂缝。随着荷载的不断加,纵向裂缝向荷载作用点缓慢发展,剪压区高度逐渐减小,最后剪压区混凝土被压坏,梁丧失承载能力。当主裂缝形成时,梁体还能继续承载,荷载主要由剪切区混凝土和主筋共同分担。剪压区内的主斜裂缝是由梁底缘薄弱处扩展并延伸

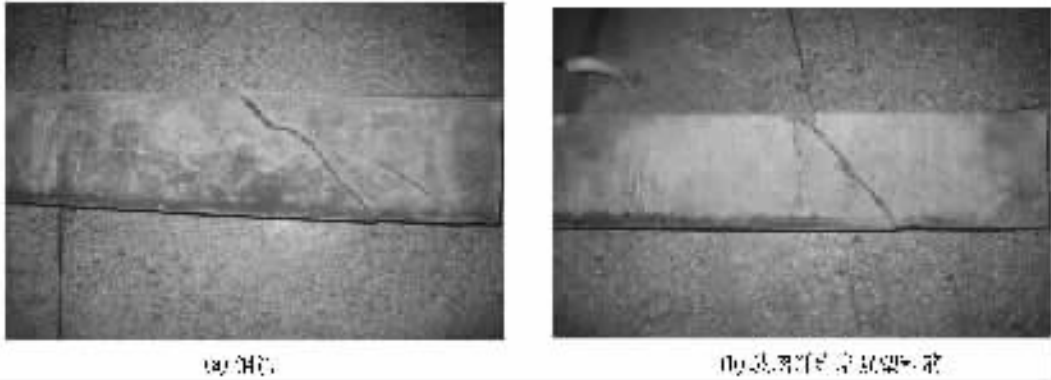


图 2 混凝土梁的破坏形态

Fig.2 Failure mode of reinforced concrete beam

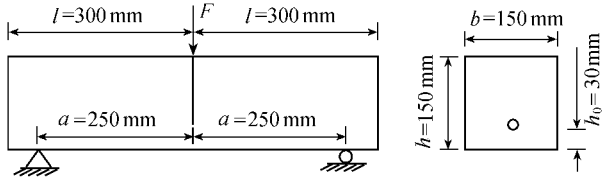


图 1 加载及简支梁

Fig.1 Sketch of loading and simply supported beam

至加载点附近的^[15].由钢筋及玻璃纤维增强塑料筋的基本物理力学性能试验可知,玻璃纤维增强塑料筋的抗剪能力远小于其抗拉能力,且大约只有钢筋抗剪强度的 $1/2$,这也是玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的抗剪承载力远小于钢筋混凝土梁的主要原因.

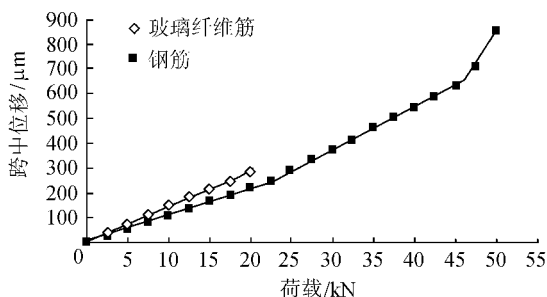


图3 钢筋及玻璃纤维筋混凝土梁的
荷载-跨中位移曲线

Fig.3 Load-midspan displacement curves of
reinforced concrete beam and GFRP concrete beam

性增加的趋势,当到达开裂荷载 18 kN 左右时,梁的底部及侧面中间出现裂纹,承载力不再增加,而是迅速减小,同时位移快速增加.当承载力下降到某个值之后,又开始缓慢上升到 20 kN 左右,之后跨中位移增加较快,直至荷载到达 40 kN 左右时梁突然破坏(由于未能及时记录跨中位移值,图3未示出该部分曲线),梁的破坏呈现脆性特征.在荷载达到 18 kN 时,承载力开始下降主要是因为混凝土在这个时候开始出现裂缝,截面上混凝土不再承担荷载,承载力下降.应力经过重新分配,玻璃纤维增强塑料筋承担了更大的荷载使得承载力继续提高,变形加快,直至破坏.

3 结 论

a. 对于钢筋混凝土梁,破坏前荷载-跨中位移关系呈现3个线性增加的阶段.到达破坏荷载后,承载力减小,位移增大,直至梁彻底破坏.梁破坏是由于沿加载点至支座的一条斜裂缝造成的.

b. 对于玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁,开裂前位移呈现单线性增加的趋势.到达开裂荷载后,承载力减小,位移增加,然而承载力减小到某个值之后又开始上升,超过开裂荷载直至梁突然破坏.梁破坏也是由于沿加载点至支座的一条斜裂缝造成的.

c. 在裂缝开展之前,玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的变形略大于钢筋混凝土梁.裂缝开展后,玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的变形增长较快,呈现脆性破坏特征.

d. 玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的平均开裂荷载和破坏荷载约为 18 kN 和 40 kN .钢筋混凝土梁的平均开裂荷载和破坏荷载约为 25 kN 和 52 kN .玻璃纤维增强塑料筋混凝土梁的开裂荷载约为钢筋混凝土梁的 72% ,剪压破坏荷载约为钢筋混凝土梁的 77% .

参考文献:

- [1] 毛文康. 含有纤维增强塑料的钢筋混凝土[J]. 现代科技译丛,1999(2): 23-24.
- [2] 院积敏,王柏生,张奔微,等. FRP筋的特点及其在混凝土结构中的应用[J]. 公路,2003,3(3): 96-99.
- [3] ADAM C B, LAWRENCE C B, MICHAEL G O, et al. Construction and cost analysis of an FRP reinforced concrete bridge deck[J]. Construction and Building Materials, 2006, 20(8): 515-526.
- [4] REISING R M W, SHAHROOZ B M, HUNT V J, et al. Performance of five-span steel bridge with fiber-reinforced polymer composite deck panels[J]. Transportation Research Rec, 2001, 1770: 113-123.
- [5] NYSTROM H E, WATKINS S E, NANNI A, et al. Financial viability of fiber-reinforced polymer (FRP) bridges[J]. ASCE J Manage Eng, 2003, 19(1): 2-8.
- [6] 曹锐,岳清瑞. 连续纤维复合材料在国外一些建筑加固工程中的研究开发与应用[J]. 建筑技术开发, 2001, 28(6): 57-61.
- [7] 岳清瑞. 我国碳纤维增强塑料(CFRP)加固修复技术研究应用现状与展望[J]. 工业建筑, 2000, 30(10): 23-26.

[8] 茅卫兵,章定国. 钢筋新型代用材料 FRP 筋黏结锚固性能试验研究[J]. 河海大学学报 :自然科学版,2000,28(5) :44-48.
[9] 张海霞,朱浮声. FRP 筋混凝土梁非线性全过程分析[J]. 东北大学学报 :自然科学版,2005,26(10) :1009-1012.
[10] 王勃. FRP 加筋混凝土梁的力学与自感知性能研究[D]. 哈尔滨 哈尔滨工业大学,2004.
[11] 杨政,郭万林,张田忠. 纤维加强聚合材料加筋混凝土梁正截面强度研究[J]. 西安交通大学学报,2000,34(1) :90-94.
[12] 邓宗才,王作虎,杜修力,等. 纤维增强塑料(FRP)混凝土结构疲劳性能研究进展[J]. 公路,2006(4) :81-85.
[13] 季宪军,王长永. 经济配筋率在受弯构件截面设计中的应用[J]. 建筑技术开发,2004,31(7) :7-26.
[14] 张雷顺,张晓磊,闫国新. 再生混凝土无腹筋梁斜截面受力性能试验研究[J]. 郑州大学学报 :工学版,2006,27(2) :18-23.
[15] 黄奕辉,蔡志鸿. 玻璃纤维增强塑料加固砼梁的抗剪试验[J]. 华侨大学学报,2002,23(3) :267-271.

Shearing capacity study on inclined section of GFRP concrete beams

CHEN Da, JIANG Chao-hua, ZHANG Wei, LIAO Ying-di
(College of Traffic, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract In order to improve the durability of concrete structure due to steel bar erosion in harbor engineering in poor environment, the glass fiber reinforced plastics (GFRP) is an ideal substitute for steel bar. Three-point bending tests for GFRP concrete beam and reinforced concrete beam were performed to compare the bending and shearing mechanical performances of the two kinds of beams. The result shows that the deformation of GFRP concrete beams is a little larger than that of reinforced concrete beam before cracking, then the GFRP concrete beam bends fast until brittle failure. Moreover, the crack strength and shearing failure strength of GFRP concrete beams are about 72% and 77% of those of reinforced concrete beams respectively.

Key words GFRP ; shearing capacity ; simply supported beam

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

(邮发代号 28-63,CN32-1117/TV,ISSN1000-1980,双月刊)

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊,主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

本刊创办于 1957 年,是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊,在国内工程技术界和学术界有较大影响.刊载的文章中,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果,部分达到了国内领先和国际先进水平,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议,发挥了较大的社会效益和经济效益,深受工程界和科技界赞许,并获得首届中国高校优秀科技期刊奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

本刊每逢单月出版,国内外公开发行,每期定价 12.00 元,全年 6 期共 72.00 元.欢迎广大读者通过全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系.编辑部地址 210098 南京市西康路 1 号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部 联系电话 025-83786343.