

文章编号 1000-5013(2001) 01-44-04

玻璃纤维材料加固混凝土结构新技术

黄奕辉 欧阳煜

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 利用玻璃纤维材料(GFRP)加固混凝土结构技术,是目前国际土木工程研究的一个热点.文中介绍玻璃纤维材料加固混凝土结构技术的特点,以及国内外研究开发的情况,对存在的问题进行分析,并对今后的研究工作提出了建议.

关键词 玻璃纤维材料, 加固, 混凝土结构

中图分类号 TU 377.9⁺1

文献标识码 A

80 年代中期,国外出现了以纤维材料(FRP)代替钢板作为混凝土结构补强材料的新型加固技术.我国目前大部分采用玻璃纤维.它是以无碱无捻玻璃纤维布作为高分子片材,以环氧树脂为基质,在常温下固化成型.外部粘贴 GFRP 加固法施工方法很简单.首先将需要加固的钢混凝土构件表面去掉酥松层,并用丙酮擦洗去脂,在构件表面刷上一层环氧树脂作为粘贴基层.可采用预制好的成品 GFRP 片材,也可采用现场加工成型.GFRP 加固法材料轻,采用手工操作,其施工空间不受限制,不影响结构的正常使用.高分子玻璃纤维耐腐蚀性强、维护费用极低、具有良好的防水效果、可以抑制混凝土劣化和钢筋锈蚀、便于加工成所需的形状.

1 GFRP 加固混凝土梁

钢筋混凝土梁加固一般分为正截面加固和斜截面加固.正截面加固如图 1 所示,在梁底粘贴 FRP 片,这和粘贴钢板法类似.图

2 是 GFRP 片端局部正应力和剪应力图.通过试验发现,粘贴 GFRP 片正截面加固梁的破坏形式主要有 4

种,如图 3 所示.从图 3(a)可见,随着

荷载增加,钢筋达到屈服状态,GFRP 片也达到弹性极限而断裂,导致截面中和轴上升,受压区混凝土压碎破坏.由于 GFRP 片断裂前处于弹性工作状态,断裂后立即退出工作,使梁的破坏形式类似一般少筋梁的破坏,表现出一定的脆性.图 3(b)的破坏形式,是钢筋未达屈服状态,GFRP 片也未破坏,但受压区混凝土被压碎破坏.这种破坏形式类似一般超筋梁的破坏,也具

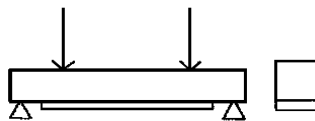


图 1 梁加固图

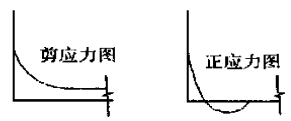


图 2 端部应力图

有一定的脆性. 这两种破坏形式的正截面极限承载力, 可以采用一般截面承载力的计算方法,

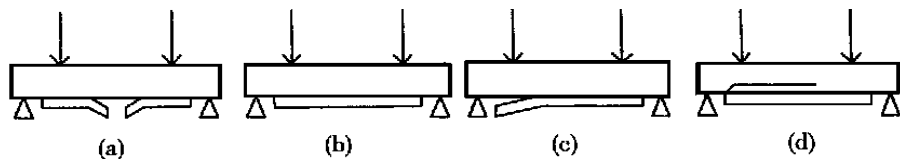


图3 梁破坏模式图

利用平截面假定计算, 这已由试验证实了. 图 3(c) 的破坏形式, 是在 GFRP 片端部应力集中区的正应力作用下, 由于环氧树脂胶层的剥离强度较低, 导致 GFRP 片剥落, 使梁截面形成少筋梁破坏. 图 3(d) 的破坏形式, 是在 GFRP 片端部应力集中区的剪应力作用下, GFRP 片和梁纵筋间的混凝土被拉裂产生竖向裂缝. 当裂缝延伸到纵筋后, 又沿钢筋产生水平向的剥离裂缝. 导致梁截面有效高度降低, 形成少筋梁破坏. 通过试验发现, (c), (d) 两种破坏形式具有极大的脆性和偶然性. 有时这两种形式的裂缝, 甚至使原来由弯曲控制破坏的梁产生剪切破坏(图 4). 由此可见, 在设计正截面加固梁时, 应特别注意 FRP 片端正应力和剪应力的计算, 以及环氧树脂胶层剥离强度和混凝土抗剪强度的验算. 若不满足要求, 应进行处理. 一般是在 FRP 片端部的一定区段内, 对 GFRP 片和钢筋混凝土梁表面的粘接进行增强处理(图 5).

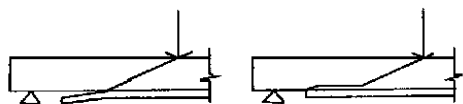


图4 梁剪力破坏图

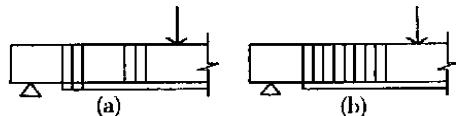


图5 梁剪力加固图

斜截面加固主要是在高剪应力区段内的梁侧面粘贴 GFRP 片(图 6). GFRP 片可以是单向(即竖向)玻璃纤维布制成的, 起到类似箍筋的作用, 也可以采用双向 GFRP 纤维布制成的, 起到斜筋的作用. GFRP 片可以是片状覆盖整个高剪应力区(图 5b), 也可以是条状隔一定距离布置(图 5a); GFRP 片可以只贴在梁侧(图 6a), 也可以从梁侧到梁底再到另一边梁侧连续粘贴(图 6b). 工程中还有一种空框架梁, 即没有和楼板连接的梁. 如工业厂房中的吊车梁, 柱间联系梁等. 这在我国目前大批老式厂房的技改项目中大量遇到. 对这类梁, 可以采用梁底粘贴 GFRP 片进行正截面加固, 然后对梁全长范围内采用连续缠绕 GFRP 带进行加固(图 7). 由于 GFRP 绷带将整根梁约束住, 使梁处于三向应力状态, 全面提高梁的混凝土强度, 效果很好.

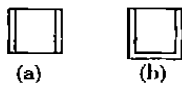


图6 梁截面加固图



图7 梁缠绕加固图

关于粘贴 GFRP 片加固梁的研究, 国外正处与方兴未艾的阶段, 但主要是以对试验数据定性分析为主, 理论模型分析较少. 文献 [1] 研究了 GFRP 片端的剥离正应力和剪应力集中区引起的破坏模式, 提出简化计算公式, 并将结果和弹性有限元分析进行比较. 文献 [2] 进行了采用 GFRP 片粘贴加固梁正截面强度试验, 对试验结果作了分析, 提出了建议计算公式. 文献 [3] 对图 2 所示的 4 种破坏模式进行了参数分析, 并对这些破坏模式提出了划分方法. 文献 [4] 进行了 GFRP 片粘贴加固梁斜截面抗剪强度试验, 对试验结果作了分析, 并提出了建议计算公式. 文献 [5] 对 GFRP 片连续缠绕包裹加固钢筋混凝土梁进行了试验研究, 认为加固方法有效. 文献 [6] 分别对采用粘贴钢板和 GFRP 片加固的吊车梁, 进行了抗疲劳性能试验研究, 结

论是粘贴钢板对正截面抗疲劳性能加固有效,对斜截面抗疲劳性能加固基本无效. 粘贴 GFRP 片对正截面抗疲劳性能的加固效果比钢板更好,对斜截面抗疲劳性能加固也极为有效.

2 GFRP 加固混凝土柱

目前,国外采用粘贴 GFRP 进行加固最多的构件就是柱子.在日本阪神地震和美国加州地震中,大量高架高速公路的桥墩由于延性不足,受到严重的破坏.因此,日本和美国都大量采用 CFRP 或 GFRP 带对桥墩进行加固.常用的加固方式如图 8 所示,图 8(a)是连续粘贴,图 8(b)是分段粘贴.这种高强 GFRP 带是在工厂预先制作好的,抗拉强度和弹性模量可达 1 100 MPa,48 GPa.柱子粘贴 GFRP 加固是利用 GFRP 对混凝土提供侧向约束,从而提高混凝土的抗压强度和极限压应变.因此,加固方法按施加侧压力的不同,分为被动固法和主动加固法两种.被动加固法就是,直接用环氧树脂将 GFRP 带连续缠绕粘贴到柱子上.当柱子受竖向和水平荷在作用下,核心区混凝土变形受到 GFRP 带的约束,从而提高抗压强度和变形能力.主动侧压力加固法就是,事先将预制成好的 GFRP 套在柱子上,GFRP 和柱子之间的空隙用高压注入水泥浆或环氧树脂浆,以达到主动施加柱子侧压力的效果.图 9 是有侧限和无侧限的混凝土本构关系.由图中可见,侧压力不但大幅度提高混凝土的抗压极限强度,极限压应变也提高数倍.图 10 是一个矩形柱截面的 $M-N$ 相关曲线和 $M-O$ 相关曲线图.图中 3 条曲线分别代表一般钢筋混凝土截面、GFRP 片加固截面、碳纤维加固截面的曲线.从图中可见,柱延性及抗压强度均有大幅度提高,但抗弯承载力增加不多.这正是抗震加固所要求的效果,使柱产生延性弯曲破坏,而不是脆性剪切破坏.

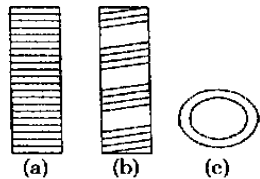


图 8 柱加固图



图 9 混凝土本构关系图

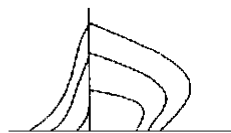


图 10 $M-N$ 和 $M-O$ 相关曲线图

关于粘贴 GFRP 片加固柱的研究,也是以对试验数据定性分析为主,理论模型分析较少.文献

[7]研究了在 GFRP 片提供侧限下,混凝土的抗压本构关系式.文献 [8]研究了圆形、矩形截面柱采用 GFRP 片粘贴加固时弯矩-轴力、弯矩-曲率的相关曲线,并提出了计算公式.文献 [9]进行了高架公路悬臂柱 GFRP 片加固的抗震性能研究.通过对 GFRP 片主动加固柱施加低周反复荷载作用,得到了柱位移、钢筋应变和曲率等参数的滞回环曲线,并提出了有关结论.

3 结束语

目前,由于有关 GFRP 片粘贴加固的研究工作在起步不久,各种试验数据较为缺乏.文献中提出的计算公式都是基于各自的试验,要付诸实用,还需要更多的试验进行验证.此外,还有以下几个方面的理论工作需要考虑.(1) 正截面、斜截面需要加固,在梁侧和梁底面同时粘贴 GFRP 片时的承载力计算.(2) 钢筋混凝土柱粘贴 FRP 片加固,分段加固和连续缠绕加固的抗剪承载力的计算.(3) 钢筋混凝土柱粘贴 FRP 片加固,在地震荷载作用下的延性.(4) 采用粘贴 GFRP 片,加固的框架节点抗震性能.(5) 采用 GFRP 片粘贴加固的构件,随着时间变

化、刚度、强度和延性等各种力学性能.

参 考 文 献

- 1 Malek A M. Prediction of failure load of RC beams strengthened with FRP plate due to stress concentration at the plate end[J]. ACI Struct. J., 1998, 95(1): 142 ~ 152
- 2 Seadatmanesh H. RC beams strengthened with FRP plates ()——Analysis and parametric study[J]. ACI Struct. J., 1991, 117(11): 3 434 ~ 3 455
- 3 Arduini M. Parametric study of beams with externally bonded FRP reinforcement[J]. ACI Struct. J. , 1997, 94(4): 493 ~ 501
- 4 Malek A M. Analytical study of reinforced concrete beams strengthened with web-bonded fiber reinforced plastic plates or fabrics[J]. ACI Struct. J. , 1998, 95(3): 343 ~ 352
- 5 罗建群, 张慧娟. 钢筋混凝土外包覆 FRP 片梁的研究[J]. FRP 片/ 复合材料, 1990, (4): 15 ~ 20
- 6 施卫星, 朱伯龙. 两种加固钢筋混凝土 T 型吊车梁方法的抗疲劳性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 1995, (3): 69 ~ 75
- 7 Mirmiran A. Behavior of concrete columns confined by fiber composites[J]. ASCE J. Struct. Eng. , 1997, 123(5): 583 ~ 590
- 8 Saadatmanesh H. Strength and ductility of concrete columns externally reinforced with fiber composite straps[J]. ACI Struct. J. , 1994, 91(4): 434 ~ 447
- 9 Saadatmanesh H. Seismic strengthening of circular bridge pier models with fiber composites[J]. ACI Struct. J. , 1996, 93(6): 639 ~ 647

A New Technique for Strengthening Concrete Structure by Glass Fiber Material

Huang Yihui Ou Yangyu

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract To strengthen concrete structure by applying glass fiber material is a R & D hot spot in present world of civil engineering. The authors relate the characteristic of this technique and the situation of its R & D at home and abroad; and analyse the problem now available; and advance suggestion on the research work hereafter.

Keywords glass fiber material, strengthening, concrete structure