

文章编号: 1674-9057(2016)04-0713-08

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2016.04.011

局部配CFRP-PCPs复合筋混凝土梁受力性能试验

张鹏, 吴兵, 邓宇

(广西科技大学 土木建筑工程学院, 广西 柳州 545006)

摘要: 针对局部(跨中受拉区2 m范围内)配碳纤维增强塑料预应力混凝土棱柱体(CFRP-PCPs)复合筋的钢筋混凝土梁进行受力性能试验。分析了局部配CFRP-PCPs复合筋梁的受力过程、破坏模式,对试验数据进行了整理和归纳分析,探讨了不同复合筋数量和截面大小、CFRP筋预应力大小对局部配CFRP-PCPs梁的抗弯性能的影响。研究表明:局部配CFRP-PCPs复合筋梁表现出良好的受力性能;局部配置时,CFRP-PCPs复合筋的性能都能发挥良好。

关键词: CFRP-PCPs复合筋;局部配筋;钢筋混凝土梁;静力加载试验

中图分类号: TU375.1

文献标志码: A

0 引言

纤维增强聚合筋(fiber reinforced polymer tendon, FRP)具有强度高、耐腐蚀等特点,在工程中得到广泛应用,但FRP筋也存在一些重要的缺陷:首先,FRP筋为完全线弹性材料,直接应用于混凝土结构中易发生脆性断裂破坏;其次,弹性模量较普通钢筋低,使得FRP构件受力时挠度和裂缝较大;再次,抗剪强度低,在运输及施工过程中易受到损坏,且在预应力结构中使用时对锚具系统要求非常高,从而又限制了FRP筋在预应力结构中的应用^[1-4]。鉴于此,本课题组率先在国内提出了“CFRP-PCPs复合筋”概念。CFRP-PCPs复合筋(carbon fiber reinforced polymer prestressed concrete prisms)是由碳纤维筋(carbon fiber reinforced plastics)和高性能活性粉末混凝土(ultra-high performance concrete)这两种材料所制成的一种具有预应力效应的新型复合材料构件(以下简称“复合筋”)。它以碳纤维筋作为预应力筋,以高性能活性粉末混凝土为浇灌材料,采用先张法工艺制作而成。集高性能活性粉末混凝土的超高

强度、优良的耐久性、韧性和碳纤维筋的高抗拉强度、耐腐蚀等二者的优势性能于一体,因而在实际工程中具有较高的应用前景。

与普通钢筋相比,CFRP筋的生产制作工艺复杂,有些构件采用的CFRP筋需要从国外进口,造价偏高。若用于预应力构件中时,需要进行现场预应力张拉且需专门研发与之配套的锚具,技术和工艺复杂。而本文提出的在混凝土纯弯段非通长配置CFRP-PCPs复合筋,不仅解决了现场张拉FRP筋带来的不便,减少了在现场张拉的锚固问题,以及附属结构被锚固后受荷载的不利影响,而且复合筋局部配置,大大减少了成本^[5-7]。本文对1根通长布置CFRP筋和4根局部配置复合筋的混凝土梁进行弯曲受力性能试验。研究表明,在纯弯段布置复合筋很好地提高了构件的承载力及延性,同时改善了构件的抗裂性能。

1 试验设计

1.1 试验材料

CFRP-PCPs复合筋是指CFRP筋与高性能活性粉末混凝土组合在一起的筋材。其具体制作工艺:

收稿日期:2015-05-06

基金项目:国家自然科学基金项目(51168006;51108099);广西自然科学基金青年项目(2012GXNSFBA053159)

作者简介:张鹏(1967—),男,博士,教授,研究方向:CFRP材料在结构中的应用, gxutzp@126.com。

引文格式:张鹏,吴兵,邓宇.局部配CFRP-PCPs复合筋混凝土梁受力性能试验[J].桂林理工大学学报,2016,36(4):713-720.

采用建筑胶粘结,将截好尺寸的 CFRP 筋两端安装上锚具;固定在张拉台上,并使 CFRP 筋纵向中心线与模具的纵向中心线在同一平面上;对 CFRP 筋采取分级张拉方法进行预应力张拉,待张拉过的 CFRP 筋稳定后将事先搅拌好的高性能混凝土浇筑在模具内,同时进行振捣,达到振捣要求后,再进行抹平。待室内养护达到设计强度后放张 CFRP 筋。

混凝土:本次试验采用的混凝土强度等级为 C50, CFRP-PCPs 复合筋的浇筑混凝土采用高性能活性粉末混凝土,由柳州 OVM 公司提供。混凝土 C50、高性能活性粉末混凝土的材性试验均严格根据我国现行的《混凝土结构试验方法标准》(GB 50152—1992)的相关规定及要求要求进行试验。混凝土的力学性能指标如表 1 所示。

表 1 混凝土的力学性能指标

Table 1 Mechanical properties of concrete

混凝土种类	弹性模量 $E_c/10^4\text{MPa}$	立方体强度 f_c/MPa	抗拉强度 f_t/MPa
C50	3.45	48.8	2.82
高性能活性粉末	4.35	154	17.4

筋材:试件所需的 CFRP-PCPs 复合筋中的预应力 CFRP 筋直径为 $\phi 7$, 该预应力筋及其锚具由柳州 OVM 公司提供。CFRP 筋的材料性能取同批 CFRP 筋的材性试验值。非预应力筋、构造筋、箍筋均采用由特定公司提供并委托进行了材性试验的普通钢筋,本文中直接引用了试验结果。CFRP 筋、普通钢筋的力学指标如表 2 所示。

表 2 筋材的力学指标

Table 2 Mechanical properties of bars

类型	弹性模量 $E_s/10^5\text{MPa}$	屈服强度 f_y/MPa	极限强度 f_u/MPa
$\phi 8$ 普通钢筋	2.1	235	370
$\phi 12$ 普通钢筋	2.1	360	550
$\phi 12$ 普通钢筋	2.1	250	560
$\phi 7$ CFRP	1.55	-	2 400

粘结材料^[9]: CFRP 筋两端的锚具采用套筒式锚具,两者采用灌浆式锚固,粘结材料采用柳州 OVM 公司提供的 LNG 灌浆料和环氧树脂胶严格按照规定比例调胶。粘结材料是由环氧树脂、固化剂和石英砂 3 种材料搅拌而成,其各组分的质量配合比为环氧树脂:固化剂:石英砂=4:1:8。

1.2 试件的设计

共设计了 5 个试件,均为简支梁。图 1 为试件简图,试件的截面形状均为矩形,截面尺寸为 200 mm × 300 mm,梁长均为 4 000 mm,端支座距梁的两端分别为 100 mm,以便试件安装,跨度均取 3 800 mm,复合筋长度为 2 000 mm。根据不同截面面积和 CFRP 筋张拉控制应力将复合筋编号 PC1 ~ PC3^[9-12],复合筋参数如表 3 所示。

表 3 CFRP-PCPs 复合筋参数

Table 3 Detail of CFRP-PCPs bars

编号	预应力筋	张拉控制应力/%	截面尺寸/mm
PC1		40	40 × 40
PC2	1 根 $\phi 7$ CFRP 筋	40	40 × 60
PC3		60	40 × 40

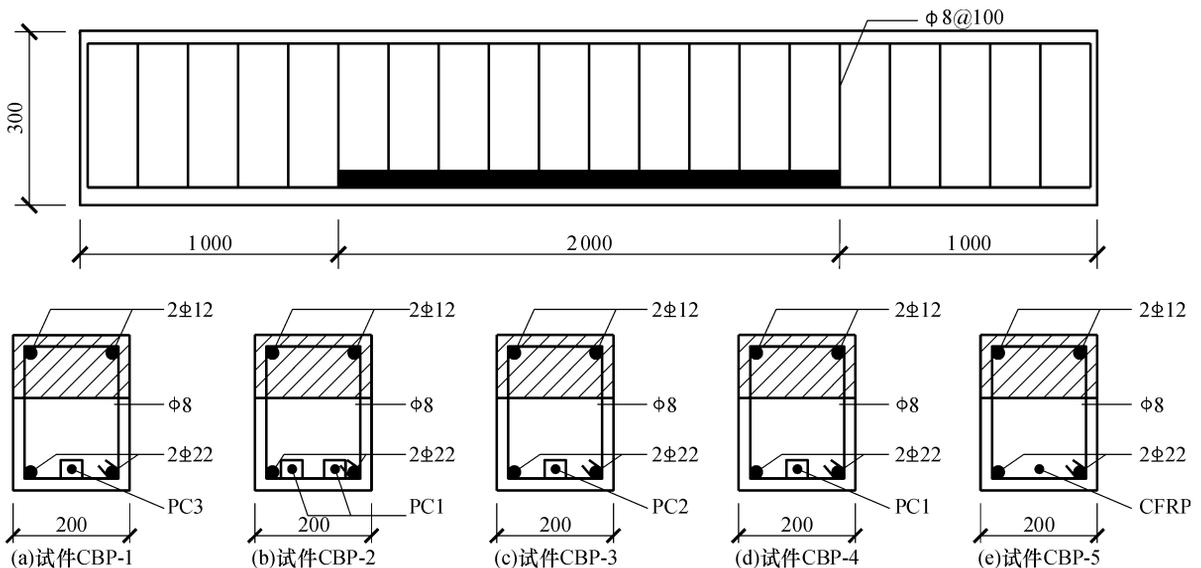


图 1 试件简图

Fig. 1 Diagram of specimens

受拉区非预应力钢筋、受压区钢筋和箍筋都采用普通钢筋。根据不同的复合筋型号及数量将试件编号为CBP-1~CBP-4。对比构件为通长配筋的后张法预应力CFRP筋梁(编号CBP-5), CFRP筋张拉控制应力为 $40\% \sigma_{con}$ 。试件设计参数如表4所示。

表4 试件配筋表
Table 4 Bars of specimens

试件编号	受拉区配筋		压区配筋	箍筋
	预应力筋	非预应力筋		
CBP-1	1根PC3			
CBP-2	2根PC1			
CBP-3	1根PC2	2 ϕ 22	2 ϕ 12	ϕ 8@100
CBP-4	1根PC1			
CBP-5	1根 ϕ 7CFRP筋			

1.3 试验方法

采用从美国MTS公司引进的MTS电液伺服加载系统分级加载。在试件出现裂缝之前,取每2kN为一个加载等级,试件开裂后,取每10kN为一个加载等级^[9-10],加载简图如图2所示。

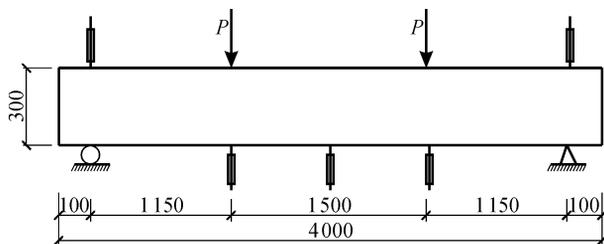


图2 加载简图
Fig. 2 Loading figure

根据本次试验目的,需要测量的数据如下^[11]:

1) 应变: 主要测量跨中钢筋应变、复合筋中CFRP筋的应变、CFRP-PCPs复合筋中高性能活性粉末混凝土应变、混凝土应变; 2) 挠度: 跨中挠度、支座沉降; 3) 荷载: 分级加载荷载。

试件梁混凝土表面位移测点和应变测点、复合筋中CFRP筋通长布置的CFRP筋以及纵向普通钢筋上的应变测点布置图如图3所示。

2 主要试验结果

2.1 破坏形态

5根混凝土梁的破坏形态如图4所示,其中4根局部配复合筋梁的发展特点相近,且所有试验梁

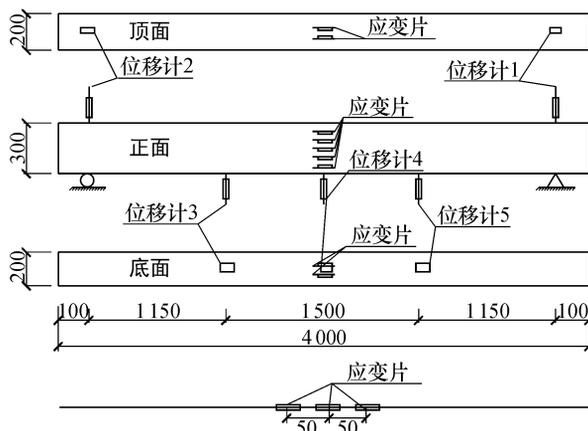


图3 位移和应变测点布置图

Fig. 3 Arrangement of displacement and strain measuring points

均表现为CFRP筋被拉断后梁上表面受压混凝土压碎的破坏模式。以CBP-4梁和CBP-5梁为代表介绍其加载过程和试验现象。

CBP-4梁在加载之初,梁整体处于弹性变形阶段中,荷载持续增加,梁底部下边缘混凝土的拉应变同时随之增大:当加载到19kN时,梁底部混凝土拉应变接近极限状态,在跨中纯弯区临近中间的位置首先开裂,出现了一条短而细的裂纹,高度为20mm,约为梁高的1/13,测量裂缝宽度为0.04mm,此时梁的挠度比开裂前在同级荷载下有了明显的增大;持续加载,不断有新的细小裂缝出现,最早出现的裂缝宽度不断增大同时高度向上发展,这个阶段梁进入带裂纹的弹塑性工作状态;当加载至113.2kN时,裂缝数不再增加,裂缝总条数为26条,其最大宽度为0.725mm,总的来说,裂缝分布较为均匀。随着荷载的增加,裂缝的高度、宽度仍处于继续增加的状态;荷载至116.4kN时,26条裂缝高度达到梁高的4/5,斜裂缝转向沿水平方向向中间扩展;荷载加至126kN时,最大裂缝宽度为1mm,同时梁不时发出“嘭嘭”的细微响声;荷载加至128kN时,突然发出“嘭”的一声巨响,在梁上表面受压区出现混凝土被压碎进而隆起,与此同时梁的承载能力迅速降低,此时,梁呈极限破坏状态。

CBP-5梁在加载初期与CBP-4相近,直到加载到25.31kN时,在梁的底部侧面首先开裂,出现了第1条细而小裂缝,高度为10mm,宽度为0.02mm;继续加载,到35kN时,在锚具处有轻

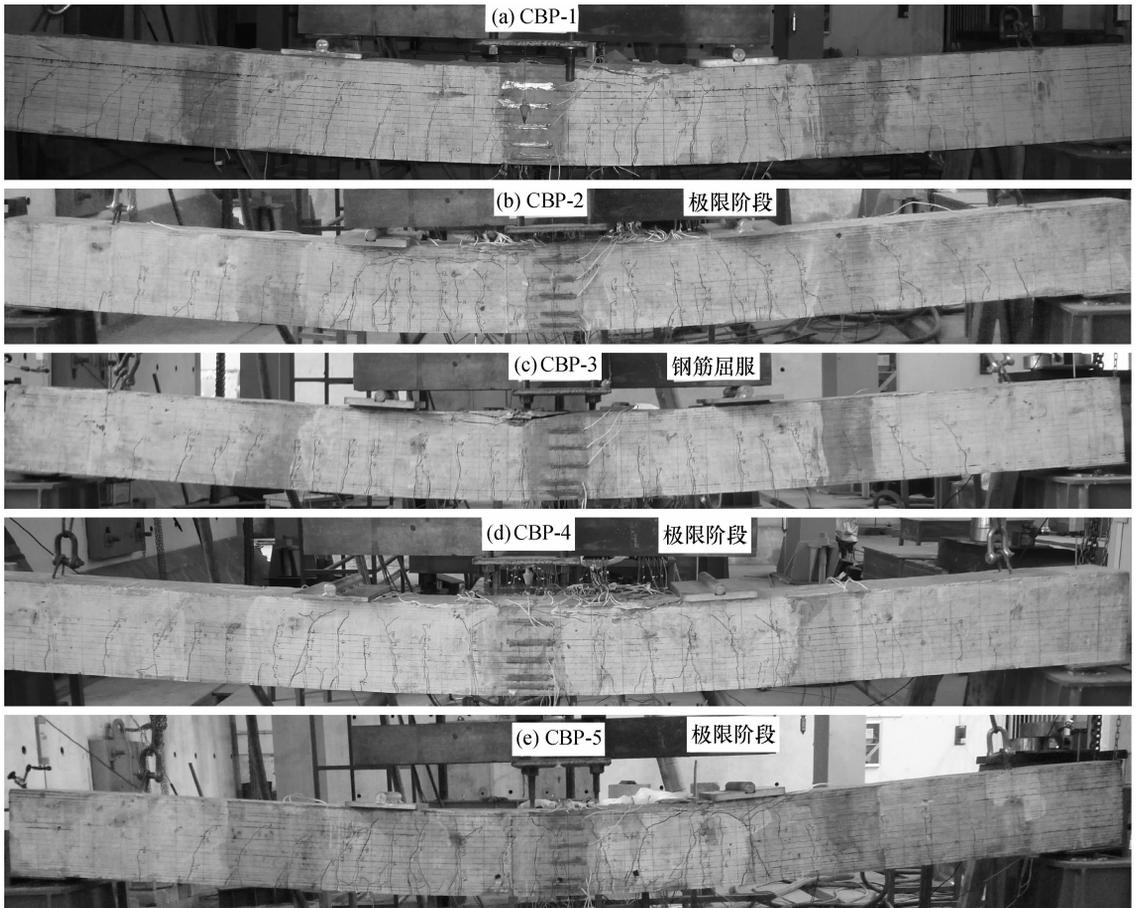


图4 CBP各梁破坏形态

Fig. 4 Failure modes of CBP beams

微响声，裂缝由1条增加到6条，主裂缝最大宽度为0.035 mm，最高高度为梁高的1/2；直至荷载加载到65 kN时，突然一声尖锐的响声，这时梁一端锚具脱锚，同时裂缝高度迅速发展，承载力也紧跟着下降，继续施加荷载，裂缝条数继续增加，同时裂缝的宽度和高度也在增加；当荷载达到97.35 kN时，裂缝的数量不再增加，高度和宽度继续发展，此时钢筋屈服，荷载的承担主要是CFRP筋，故此时梁的刚度下降较多，表现出较大的变形；随着荷载继续加大，伴随着轻微的“嘭嘭”声，支座处也有混凝土渣飞出，当荷载达到120 kN时，混凝土梁受压区有混凝土剥落，试件破坏。

对比可知，局部配复合筋混凝土梁与配CFRP筋混凝土梁相比，挠度变形小于后者，裂缝分布较后者均匀，且发展也较为缓慢。裂缝总体高度发展较低，尤其是后期发展缓慢，继续发展高度有限。

2.2 荷载-挠度曲线

所有试件的荷载-挠度曲线图如图5所示。可以看出：配有复合筋的试件相对于配有CFRP筋的试件，试件屈服前的挠度变化情况要好，同时加载前期表现出良好的弹塑性，这表明复合筋中的高性能活性粉末混凝土发挥了良好的作用，它含有钢纤维，并且不含粗骨料，与CFRP筋及普通混凝土粘结较好，可以与CFRP筋协同工作。使得

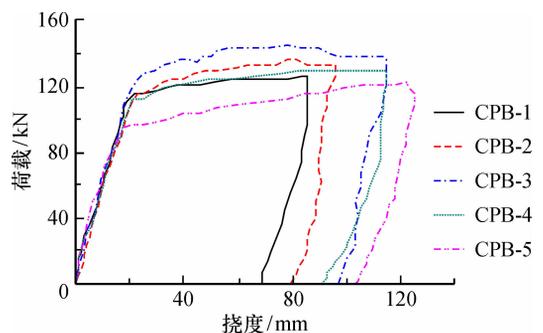


图5 荷载-跨中挠度曲线

Fig. 5 Relationship between load and mid-span deflection

试件屈服后,配有复合筋的试件存在较为明显的屈服平台,表现出较好的延性及耗能性能;配有复合筋的试件相对于配有CFRP筋的试件,开裂荷载有一定差距。但在试件开裂后,配有复合筋的试件开始显现优势,极限承载力有较大的提高,在加载到相同荷载时,配有复合筋的试件的挠度比配有预应力CFRP筋的试件小很多,复合筋增强了截面刚度,在达到极限荷载前试件的挠度降低;比较试件CBP-1、CBP-2、CBP-3、CBP-4曲线发现,试件变形性能随着复合筋的张拉控制应力和复合筋截面尺寸的增加而提高,张拉控制应力的大小是关键因素。

2.3 裂缝分析

试件的荷载与裂缝宽度、高度关系曲线如图6所示。可见,所有构件裂缝高度及宽度发展较慢,裂缝总条数较多,平均间距小,裂缝总体上发展及分布较均匀。复合筋与混凝土的粘结能阻止裂缝的发展且能传递应力。对比试件CBP-1与CBP-4

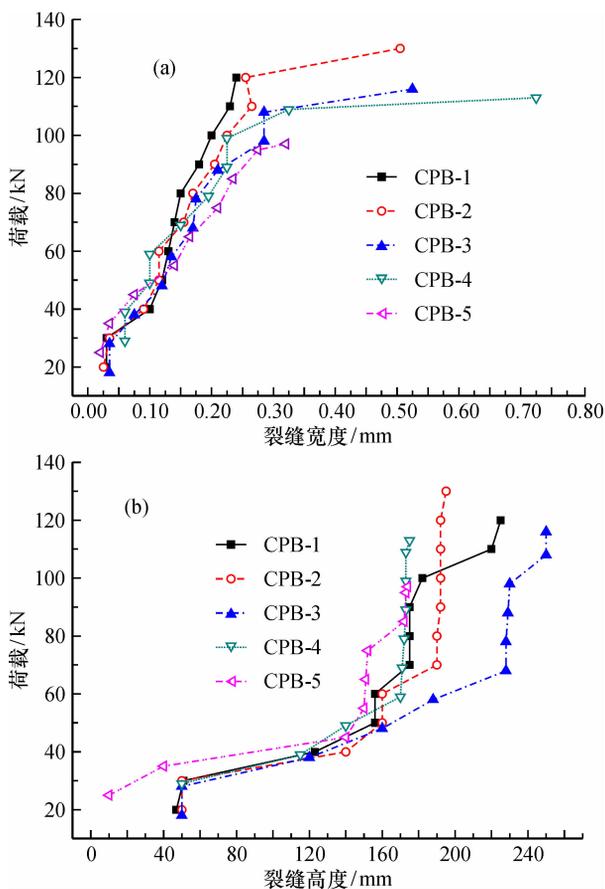


图6 各试件荷载-裂缝宽度(a)与主裂缝荷载-裂缝高度(b)关系曲线

Fig. 6 Relationship among load and crack width (a), and crack height (b)

的荷载-裂缝宽度、荷载-裂缝高度曲线可以发现:在加载前期,试件CBP-1的开裂荷载为18.15 kN,试件CBP-4的开裂荷载为19 kN,两者开裂荷载相近;在相同的荷载等级下,试件CBP-1的裂缝宽度以及高度都要小于试件CBP-4,且前期裂缝发展较为缓慢,在加载后期,两者的宽度与高度都有了较多变化,虽然梁CBP-1的裂缝高度略高于梁CBP-4的裂缝高度,但发展的速率要较后者平稳。以上现象说明,提高复合筋中CFRP筋的张拉应力能够较好地发挥阻止裂缝发展作用。对比试件CBP-4和试件CBP-2的荷载-裂缝宽度、荷载-裂缝高度曲线发现:在整个加载过程中,试件CBP-2的裂缝宽度远小于试件CBP-4的裂缝宽度,且裂缝宽度较试件CBP-4的发展平稳、缓慢,裂缝发展的高度相近。从总体来看,试件CBP-2的裂缝总数为36条,而试件CBP-4的总数为26条,前者比后者裂缝间距小,分布更为均匀。这是因为增加了复合筋的数量,有效地阻止了裂缝的发展,尤其是在加载后期复合筋起到了关键作用,与混凝土表现出良好的粘结性能,从而使梁整体的破坏趋于平缓。故此,随着复合筋数量的增加,可以增强构件的阻裂能力;但考虑到到构件的延性问题,建议在放置复合筋的同时放置普通钢筋,以保证构件的延性。同时,发现试件CBP-4和CBP-2的荷载-裂缝宽度、荷载-裂缝高度曲线两者无论是在裂缝宽度还是在裂缝高度上都比较接近,裂缝总体分布也比较相似,后者裂缝高度略高,是因为后者与混凝土的接触面积略大,对其阻裂性能有一定的影响。可见,加大复合筋的截面面积对构件的裂缝发展没有太明显的效果。对比试件CBP-4和CBP-5的荷载-裂缝宽度、荷载-裂缝高度曲线发现:两者裂缝宽度曲线发展趋势几乎重合,裂缝高度试件CBP-4的要略高于试件CBP-5,这是由于后者为预应力构件,加载过程中对试件CBP-5施加的预应力很好地发挥了阻止裂缝发展的效果;但在试件CBP-4的破坏过程中可以看到明显的过程加载,这证明复合筋可以保证构件的延性。

2.4 上缘混凝土-荷载应变

试件混凝土受压区荷载-压应变曲线如图7所示。当试件开裂之前,试件处于弹性阶段,下缘混凝土没有开裂,上缘混凝土梁应变与荷载近似呈线性关系。当试件开裂后直至屈服,试件进

入弹塑性阶段：随着下缘混凝土的裂缝迅速向上延伸，裂缝宽度变大，试件上缘混凝土应变增加速度明显加快，表现出应变和荷载呈非线性关系。当试件屈服后，受压区高度减小，微小的荷载变化，就可导致试件上缘混凝土应变大幅度的改变。综上所述可以看出，各试件受压区混凝土破坏时压应变尚未达到其极限压应变，这种现象与试件受压破坏的试验现象并不吻合，分析其可能原因在于由于受试验条件的制约，导致受压混凝土破坏区域并不在跨中的测点位置。

总体上，局部配复合筋梁开裂前处于弹性阶段，曲线呈线性关系；局部配复合筋梁屈服即进入弹塑性阶段，裂缝的宽度和高度不断增加，此时梁顶部混凝土应变增加量变大，曲线表现出非线性关系。

2.5 钢筋的荷载 - 应变特征

跨中受拉区非预应力钢筋荷载 - 应变曲线如图 8 所示。在试件屈服时，钢筋屈服点应变在

2 200 $\mu\epsilon$ 左右，与理论屈服应变相接近，可理想地认为，此次试验中所有试件的钢筋均已达到屈服强度。配有复合筋的试件非预应力钢筋在构件破坏时拉应变已达到理论屈服强度，钢筋应力超过本次试验所用钢筋的平均极限强度，因此在计算复合筋承载力时，应取钢筋的极限强度。在加载相同荷载下，配有复合筋的试件钢筋屈服比配有预应力 CFRP 筋试件要早，并且配有预应力 CFRP 筋的试件在钢筋屈服以后很快被破坏，但配有复合筋的试件在钢筋屈服后还可以有很长的屈服平台，说明了复合筋可以与钢筋协同，共同完成承担荷载的任务，从而提高了钢筋的利用效率。

2.6 复合筋中 CFRP 筋荷载 - 应变特征

复合筋中 CFRP 筋跨中受荷载影响曲线图 9 所示，CFRP 筋的应变曲线大致也可分为 3 个阶段：第 1 阶段，配有复合筋和配有 CFRP 筋的试件在混凝土梁开裂以前，试件均处于弹性阶段，混凝土尚

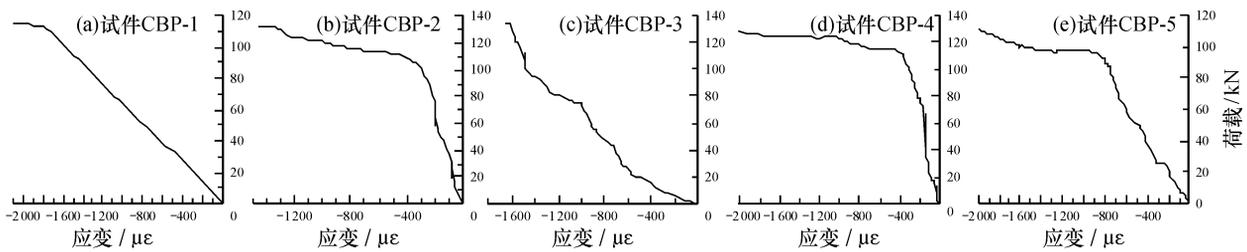


图 7 混凝土上缘荷载 - 应变曲线
Fig. 7 Strain responses of concrete in specimens

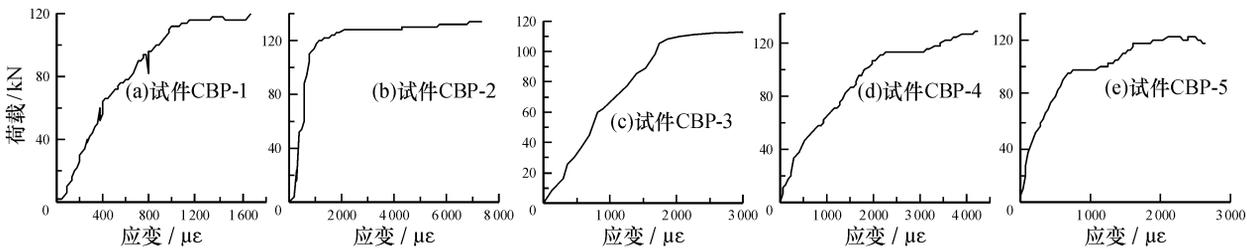


图 8 钢筋荷载 - 应变曲线
Fig. 8 Strain responses of steel bar in specimens

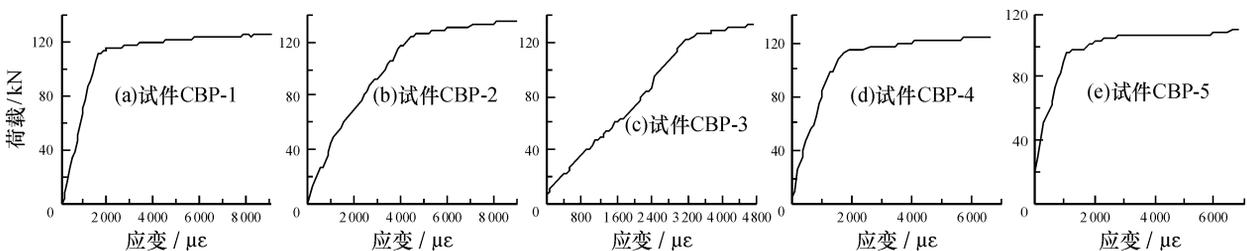


图 9 预应力筋荷载 - 应变曲线
Fig. 9 Strain responses of prestressing CFRP bars tendons

未开裂, 预应力 CFRP 筋应变与荷载近似呈线性关系; 第2阶段, 梁底混凝土开裂之后, 配有复合筋的试件, 主要是钢筋和复合筋共同受力, 而复合筋内部的 CFRP 筋也随加载级数的增加逐渐开始承担荷载作用, 所以曲线斜率增大, 且出现非线性区段。对于配有预应力 CFRP 筋的试件, 主要由钢筋和 CFRP 筋共同承担荷载作用, CFRP 筋曲线斜率较大, 应变和荷载呈非线性关系; 第3阶段, 钢筋屈服以后, CFRP 筋承担了大部分的荷载, 直至试件最后破坏, 在这一阶段荷载增量极小的情况下, CFRP 筋应变增加量会有较大的改变, 曲线斜率明显变大。

对比配有相同的张拉应力但不同复合筋根数的试件 CBP-2、CBP-4, 在普通非预应力钢筋达到屈服时, 试件 CBP-2 中 CFRP 筋的应变增量大于试件 CBP-4 中 CFRP 筋的应变增量, 其原因主要是: 试件 CBP-2 比试件 CBP-4 中多 1 根复合筋, 但相应地减少了普通钢筋, 故试件 CBP-2 中的 CFRP 筋需要承担比试件 CBP-4 中 CFRP 筋更多的应力; 试件 CBP-2 中配有 2 根复合筋, CFRP 筋有效地与高强混凝土工作。

对于复合筋中 CFRP 筋不同控制拉应力, 配筋相同的试件 CBP-1 和试件 CBP-4 相比, 当达到屈服荷载时, 试件 CBP-1 中 CFRP 的筋应变略小于试件 CBP-4 的, 提高复合筋中 CFRP 的控制拉应力, 复合筋参与更多受力行为, 因此, 提高复合筋中 CFRP 筋的张拉应力可以提高复合筋的利用率。

而对复合筋截面面积不同的试件 CBP-3 和试件 CBP-4 相比, 当达到屈服荷载时, 试件 CBP-4 中 CFRP 筋的应变是略小于试件 CBP-3 中 CFRP 筋的应变。提高复合筋中截面尺寸, 对试件的开裂弯矩没有太大影响, 但加大复合筋的截面面积使更多的高性能混凝土参与 CFRP 筋协同工作, 对其极限

承载力贡献力量, 参与更多受力行为, 提高复合筋中 CFRP 筋的张拉应力可以提高复合筋的利用率。

2.7 复合筋表面荷载-应变特征

复合筋上下缘混凝土应变与荷载的关系曲线如图 10 所示。此次试验中复合筋上下缘均受拉, 且在整个受力过程中下缘应变较上缘的应变大; 试件从开裂直至破坏, 复合筋上下缘的荷载-应变曲线表现出明显的非线性, 荷载-应变曲线直到构件破坏都表现为类似的变化曲线; 在极限阶段, 复合筋下缘开裂时, 复合筋上缘应变较下缘的应变较小, 说明试件在复合筋下部开裂后, CFRP 筋承担了主要荷载, 试件中复合筋截面尺寸较 CFRP 筋大, 且试件的破坏模式为 CFRP 筋未拉断的受压破坏, 因此直至构件破坏均由 CFRP 筋在工作, 复合筋上部混凝土受力较小。通过试验观察和数据分析一直到构件破坏, 复合筋中的高性能混凝土在受力过程中起到了显著的作用, 但上部的高性能混凝土应变较小, 对承载力的贡献较小, 故过量的增加截面尺寸是不合理的。对比试件可以看出, 增加复合筋中 CFRP 筋的张拉控制应力会使复合筋上下缘受力差别减小。

3 结论

(1) 局部配复合筋混凝土梁表现出良好受力性能, 不仅在正常使用极限状态而且在承载力极限状态下, 局部配复合筋混凝土梁的受力性能都发挥良好。

(2) 提高复合筋中 CFRP 筋的预应力可以提高复合筋的开裂荷载和改善 CFRP 梁在正常使用阶段的受力性能。

(3) 增加复合筋数量也可以在一定程度上提高构件的极限承载力, 同时减少构件的挠度。配有复合筋梁的挠度均小于 CFRP 梁的挠度。

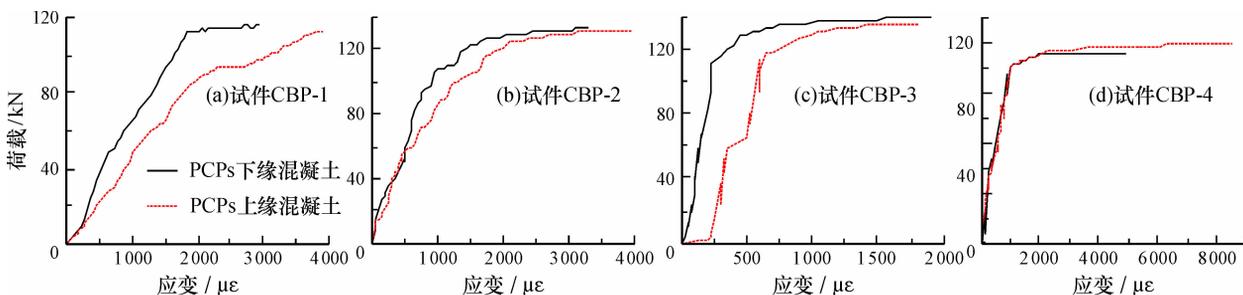


图 10 CFRP-PCPs 复合筋表面荷载-应变曲线

Fig. 10 Strain responses of CFRP-PCPs bars in specimens

(4) 从裂缝分布上观察, 配有复合筋的试件总体上裂缝分布较为均匀, 在复合筋开裂前, 与仅配有 CFRP 筋的试件相比, 裂缝宽度较小。在复合筋开裂以后裂缝发展情况要比后者明显, 其原因是在复合筋开裂后主要是由 CFRP 筋承担荷载, 但本试验的试件均采用局部配复合筋, 此时释放出的预应力相较于通长配筋有所降低, 故裂缝宽度要略大于后者。

参考文献:

- [1] Xue W C, Tan Y, Zeng L. Flexural response predictions of reinforced concrete beams strengthened with prestressed CFRP plates [J]. *Composite Structures*, 2010, 92 (3): 612 - 622.
- [2] 谷倩, 张祥顺, 彭少民. 新材料 FRP 的研究与应用综述 [J]. *华中科技大学学报: 城市科学版*, 2003, 20 (1): 88 - 92.
- [3] 邵劲松, 刘伟庆. 碳纤维在土木工程中的应用 [J]. *玻璃钢/复合材料*, 2005 (5): 41 - 44.
- [4] 袁竞峰. 新型 FRP 筋混凝土梁受弯性能研究 [D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [5] Sameh Michel Rafla Salib. Behavior and strength of concrete beams reinforced with prestressed FRP bars [D]. Windsor: University of Windsor, 2001.
- [6] ACI 440. 1R—2006, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars [S].
- [7] Svecova D, Razaqpur A G. Flexural behavior of concrete beams reinforced with carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) prestressed prisms [J]. *ACI Structural Journal*, 2000, 97 (5): 731 - 738.
- [8] GB 50010—2010, 混凝土结构设计规范 [S].
- [9] 薛伟辰, 王晓辉. 高性能碳纤维增强塑料 (CFRP) 绞线筋粘结性能研究 [J]. *建筑结构学报*, 2006, 27 (6): 67 - 73.
- [10] Peng H, Zhang J R, Cai C S, et al. An experimental study on reinforced concrete beams strengthened with prestressed near surface mounted CFRP strips [J]. *Engineering Structures*, 2014, 79: 222 - 233.
- [11] 张新越. FRP 筋及其混凝土构件的力学性能与感知特性 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002.
- [12] 薛伟辰. 有粘结预应力纤维塑料筋混凝土梁的试验研究 [J]. *工业建筑*, 1999, 29 (12): 11 - 13.

Experiment on the behavior of partial reinforced concrete beam with CFRP-PCPs reinforcement

ZHANG Peng, WU Bing, DENG Yu

(College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, China)

Abstract: In this paper, the mechanical behavior of concrete beam which is reinforced by CFRP-PCPs within the range of two meters of the compression zone in the mid-span is studied. Based on the test values of the specimens, the detail studies on flexural behavior and failure modes are conducted. Through the reorganization and induction of the experiment data, the influence of sectional dimensions and quantity of the CFRP-PCPs and the prestressed of CFRP on the flexural performance are discussed. Experiments show that partial reinforced concrete beam with CFRP-PCPs reinforcement shows good mechanical performance, and the CFRP-PCPs can play a good performance when reinforced in the beams.

Key words: CFRP-prestressed concrete prisms; partial reinforced; concrete beam; static loading test