

CFRP 加固高强钢筋混凝土梁抗剪承载力计算

周英武, 王苏岩*, 李宏男

(大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘要: 为深入探讨高强混凝土结构用碳纤维布(简称 CFRP)增强系列问题,对基于碳纤维布拉断的高强钢筋混凝土加固梁进行了抗剪性能试验研究,考虑了加固量、加固形式、剪跨比、预损伤程度、配箍率等参数的影响.试验结果表明,经碳纤维布加固的高强混凝土梁抗剪承载力提高较多,加固效果明显;预损伤对加固梁的抗剪承载力影响不大;剪跨比、加固量综合起来影响着碳纤维布的受力程度,从而影响到碳纤维布的有效应变,最终决定了试验梁的抗剪承载力.基于有效应变模型,提出了与试验结果相吻合的碳纤维布抗剪承载力计算方法,并结合我国碳纤维布加固混凝土结构规程,提出了高强钢筋混凝土梁用碳纤维布进行抗剪加固的设计方法.

关键词: 高强混凝土梁; 碳纤维布; 加固; 抗剪; 承载力计算

中图分类号: TU375.1 **文献标志码:** A

0 引言

伴随着超高层建筑、大跨度重载结构、多层重型工业厂房以及大跨度桥梁等大型建筑物不断涌现,高强混凝土得到了广泛的应用^[1,2],致使高强混凝土结构工程的加固维修问题变得日益严峻.目前,国内外对 FRP 加固维修高强混凝土结构展开的研究不多^[3,4],高强混凝土结构用 FRP 进行加固维修还缺乏相应的设计依据.为此,本文设计了一批高强钢筋混凝土梁,采用不同的剪跨比、配箍率,变化纤维布条带的粘贴层数、间距和宽度,并在加固前对试验梁进行不同程度的预损伤,系统地研究高强钢筋混凝土梁在封闭条箍,即四面缠绕下的抗剪性能,对基于碳纤维布断裂的高强钢筋混凝土梁的影响参数进行分析.

目前,计算 FRP 加固普通钢筋混凝土梁抗剪承载力的方法主要有:(1)有效应变、应力和粘结力学模型^[5,6];(2)桁架拱模型^[7]以及变形的桁架拱模型^[8];(3)受压场理论^[9]以及修正的受压场理论模型^[10];(4)修正的剪切摩擦带状法的力学模型^[11,12]等.对于有效应变模型, Triantafyllou 等^[5,6]根据已有试验数据回归出有效应变与纤维

布加固指标($\rho_f E_f$)的关系,Chen 等^[13]则提出了应力不均匀分布系数,对纤维片材的极限应力进行了折减;然而这些模型均没有综合地考虑到剪跨比、相同配布率不同粘贴形式、预损伤程度以及斜裂缝倾角对抗剪极限承载力的影响,而试验中发现剪跨比、粘贴形式对有效应变的影响较为显著.为此,综合考虑上述因素,并结合我国的《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》^[14],本文对试验中的 20 根梁进行理论分析,建立纤维片材有效应变的计算模型,提出与试验相吻合的碳纤维布抗剪承载力的计算表达式,为工程应用提供参考建议.

1 试验概况

本次试验所浇注的高强钢筋混凝土梁的截面尺寸均为 150 mm×400 mm×3 000 mm,净跨均为 2 700 mm,试件的尺寸和配筋情况见图 1.图中 3 根 $\phi 25$ 的纵筋在剪跨区内截断,断点处与锚入支座的 3 根 $\phi 22$ 纵筋焊接在一起,目的是减小剪跨区内纵筋的配筋率,削弱纵筋的销栓作用. LA、LB、LC 系列梁的配箍率 ρ_v 分别为 0.22%、0.29%和 0.44%;为了研究剪跨比对抗剪承载力

收稿日期: 2007-04-10; 修回日期: 2009-02-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50378711).

作者简介: 周英武(1978-),男,博士生; 王苏岩*(1958-),女,教授; 李宏男(1957-),男,长江学者奖励计划特聘教授,博士生导师.

的贡献,对试验梁分别施加 $\lambda=1.43,2.00,2.57,3.00$ 四种剪跨比;加固梁均采用四面缠绕的形式,以模拟纤维布拉断的破坏形态,具体参数见表 1. 试验中碳纤维布采用南京彤天科技有限责任公司

生产的 CFW300 型单向碳纤维布,弹性模量为 237 GPa,极限拉伸率为 1.7%;粘结胶为南京德谦科技有限责任公司生产的 Lica100 型碳纤维布配套结构胶. 试验采用两点对称分级加载.

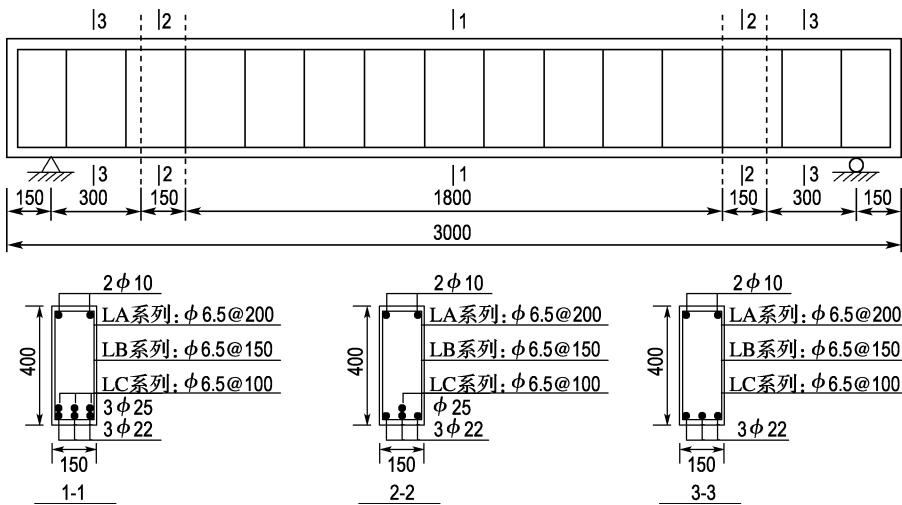


图 1 试验梁的配筋详图

Fig. 1 Steel reinforcement of the beams

表 1 试验梁的加固形式与试验结果

Tab. 1 Program and results of the experiment

序号	梁编号	混凝土强度/ MPa	λ	预裂 程度/ %	粘贴 层数	粘贴 角度/ (°)	带宽/ 间距	配布率	斜裂 缝倾 角/(°)	纤维布 剥离时 荷载/ kN	碳纤维 布有效 应变	规范计 算无加 固梁的 极限荷 载/kN	乘 k 系 数无加 固梁的 极限荷 载/kN	加固梁 极限荷 载的试 验值/ kN	CFRP 抗 剪贡献 试验值/ kN	CFRP 抗 剪贡献 计算值/ kN	试验值 与计算 值的比 值	破坏 模式
1	LA01	59.6	1.43	/	—	—	—	—	35	—	—	198.39	299.50	299.50	—	—	—	0
2	LA02	65.3	2.00	/	—	—	—	—	35	—	—	182.88	241.23	241.23	—	—	—	0
3	LA03	59.6	2.57	/	—	—	—	—	31	—	—	159.73	190.97	190.97	—	—	—	0
4	LA04	59.6	3.00	/	—	—	—	—	44	—	—	150.23	137.07	137.07	—	—	—	0
5	LB0	55.3	2.00	/	—	—	—	—	40	—	—	190.24	237.23	237.23	—	—	—	0
6	LC0	55.3	2.00	/	—	—	—	—	37	—	—	230.48	230.70	230.70	—	—	—	0
7	LA1	61.2	1.43	65	1	90	50/100	0.000 742	35	300	0.004 86	200.83	303.25	376.52	73.27	72.27	1.01	4
8	LA2	56.4	1.43	/	1	90	50/100	0.000 742	39	275	0.005 02	193.29	291.87	357.30	65.43	62.28	1.05	2
9	LA3	58.9	2.57	56	1	90	50/100	0.000 742	46	180	0.005 98	158.94	190.10	251.00	60.90	57.11	1.07	1,2
10	LA5	63.3	3.00	77	1	90	50/100	0.000 742	34	145	0.005 75	153.82	185.02	230.20	89.92	92.77	0.97	1,2
11	LA6	63.3	3.00	71	1	90	50/50	0.001 112	41	185	0.005 88	153.82	140.29	247.34	107.05	100.10	1.07	1,2
12	LA10	62.4	3.00	/	1	90	50/100	0.000 742	32	175	0.005 96	152.96	140.29	240.13	100.62	100.08	1.01	2
13	LA7	61.9	2.00	48	1	90	50/100	0.000 742	41	205	0.005 00	178.82	139.51	296.14	60.27	63.21	0.95	2
14	LA8	61.9	2.00	/	1	90	全包裹	0.002 227	44	300	0.003 19	178.82	235.87	340.56	104.69	104.44	1.00	1,2
15	LA9	61.9	2.00	54	2	90	50/100	0.001 484	47	215	0.004 87	178.82	235.87	331.63	95.77	96.37	0.99	1,2
16	LA19	57.5	2.00	58	3	90	50/100	0.002 227	48	290	0.004 69	173.14	235.87	362.14	133.77	130.09	1.03	2
17	LA11	55.9	2.00	61	1	90	35/35	0.001 113	36	250	0.004 42	170.95	228.37	321.84	96.35	104.04	0.93	4
18	LA16	52.9	2.00	58	1	90	100/50	0.001 484	55	253	0.004 60	181.60	225.49	307.56	68.04	64.37	1.06	2
19	LB1	61.9	2.00	44	1	90	50/100	0.000 740	39	245	0.005 47	198.94	248.08	319.30	71.22	67.85	1.05	2
20	LC1	51.8	2.00	64	1	90	50/100	0.000 740	42	240	0.005 21	225.43	225.66	309.80	84.14	83.42	1.01	1,2

注:“/”表示完整无损的梁;“—”表示数据不存在,无定义;

破坏模式:0 混凝土剪切破坏;1 主斜裂缝处纤维布拉断+0;2 倒角处纤维布拉断+0;3 支座处混凝土压溃+0;4=1+2+3;

配布率 $\rho_f=A_f/b_s$;试验值与计算值比值的均值为 1.014,变异系数为 4.3%

2 试验结果分析

2.1 荷载挠度曲线及破坏形态

各试验梁的破坏过程都经历了主斜裂缝的形成与发展,导致与裂缝相交处的纤维布条带局部开始剥离,随着荷载的逐级增大,剥离区域进一步拓展,箍筋屈服,纤维布开始沿梁高通长剥离,持续一段时间后突然断裂,梁失去承载力。在整个过程中只有部分纵向钢筋屈服。所选 20 根梁均发生剪切破坏,破坏的模式可归为以下 3 种:与主斜裂缝相交处纤维布条带断裂;试验梁倒角处纤维布因应力集中发生断裂;支座处混凝土压溃。所有梁的承载力都得到了很大的提高,达 23%~76%。具体数据可见表 1。表中采用了下述的方法消除混凝土强度差异对计算碳纤维布抗剪贡献的影响^[13]。

已知参考梁(无加固梁)抗剪极限承载力的试验值 $V_{\text{exp,ref}}$,并按照我国高强混凝土技术规程^[15]计算其理论值 $V_{\text{pre,ref}}$,定义两者的比值为加固梁混凝土强度差异的修正系数 k :

$$k = V_{\text{exp,ref}} / V_{\text{pre,ref}} \quad (1)$$

假定不同强度的钢筋混凝土梁其抗剪承载力的试验值与按同一准则计算的理论值的比值是恒定不变的^[13],则对于每一根加固梁,碳纤维布的抗剪承载力贡献可以较为准确地计算如下:

$$V_f = V_{\text{exp}} - kV_{\text{pre,RC}} \quad (2)$$

式中: V_{exp} 为试验测得的加固梁的抗剪极限承载力; $V_{\text{pre,RC}}$ 为加固梁中钢筋与混凝土对抗剪承载力的贡献,按我国高强混凝土技术规程计算得到。

图 2 为各试验梁的荷载挠度曲线。由图 2 和

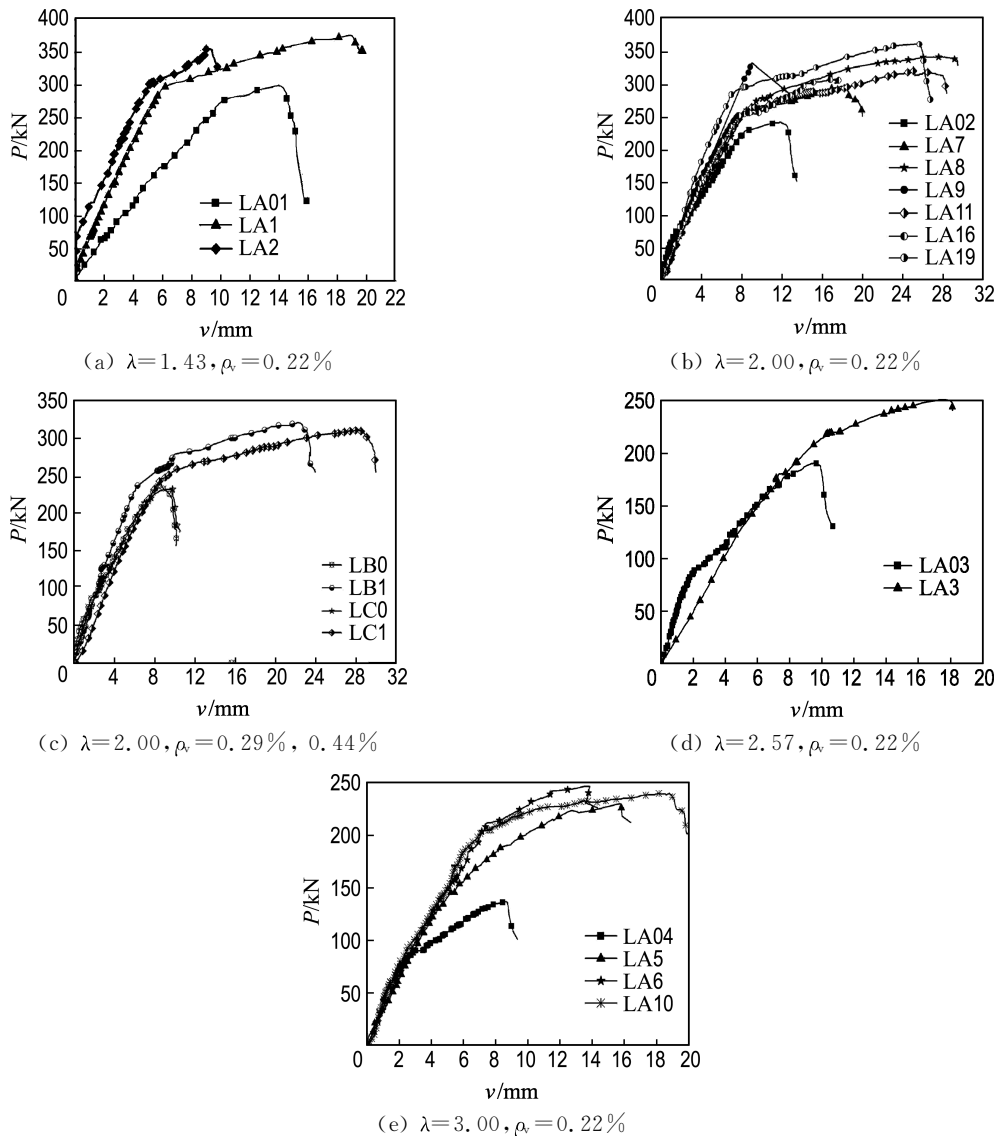


图 2 各试验梁的荷载挠度曲线

Fig. 2 Load-displacement curves of the tested beams

表1可以看到,加固梁的初始刚度在小剪跨比下,有较明显的提高,见图2(a);在大剪跨比下,提高不明显,各加固梁的荷载挠度曲线基本上重合,见图2(e);对于受损加固梁,其初始刚度有时还有所降低,见图2(d).加固梁与参考梁相比,延性都有很大的提高,但预损伤加固梁的承载力提高幅度较无损加固梁稍低10%,或更小,差距并不是很大,即预损伤程度对碳纤维布的增强作用影响不明显,抗剪承载力可以近似按一次受力的情况进行计算,这与普通混凝土结构用FRP进行加固基本相似^[13,16].取4种剪跨比下相同配筋情况和加固量的试验梁LA1、LA7、LA3、LA5,绘制它们抗剪承载力提高幅值与剪跨比的关系曲线(图3),发现加固梁抗剪承载力的提高幅值随着剪跨比的增加而显著增加,分析是剪跨比越小、拱作用越明显,高强混凝土能发挥更大的作用,纤维布条带参与受力的程度就越低,承载力提高的幅度也就越小.可见,剪跨比是影响加固梁极限承载力的关键因素,在抗剪承载力分析中是不可忽视的,这是下文承载力分析的思想前提.

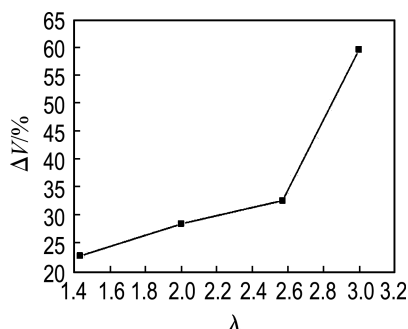


图3 剪跨比 λ 与抗剪承载力提高幅值

Fig. 3 The increasement of the shear strength vs. λ

2.2 加固梁的初始剥离荷载与极限荷载

碳纤维布的剥离将使结构不再满足适用性的要求,因此在实际工程的加固设计中有必要考虑纤维布开始剥离时的荷载水平,与极限荷载相比,还存在多少安全储备.本文根据试验观测的现象,记录了碳纤维布条带开始剥离时的荷载.

图4是根据加固梁的剥离荷载与极限荷载计算所得的当碳纤维布开始剥离时,梁离最终破坏所具有的安全储备 S .由图可见,加固梁剥离时的安全储备在11.9%~37.0%,平均值为24.1%.LA8梁的安全储备最低为11.9%,原因是LA8

采用纤维布全包裹的粘贴形式,配布率最高($\rho_f = 0.002\ 227$),纤维布对整条剪切裂缝的形成与发展均起到了很好的抑制作用,从而延缓了纤维布的剥离.因此,纤维布的粘贴形式和加固数量直接影响着纤维布剥离荷载的大小.图中,取相同加固量和粘贴形式、不同剪跨比的梁LA1、LA7、LA3、LA5进行分析,可以发现随着剪跨比的增加,试验梁的安全储备基本呈上升的趋势.此外,试件的平整程度、纤维布的施工工艺、粘结胶的力学性能等均不同程度地影响着加固梁开始剥离时的荷载水平.定量地研究剥离荷载与极限荷载的关系,提出基于结构适用性的设计表达式,曹双寅等^[17]对普通钢筋混凝土梁作了一定的研究工作,但对于高强混凝土还缺乏更多的试验数据,根据本次试验的结果,本文建议取20%的安全储备.

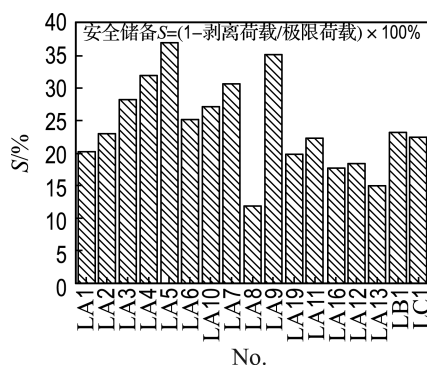


图4 各加固梁剥离时的安全储备

Fig. 4 Safety capacity when debonding

3 承载力计算与设计

3.1 试验梁抗剪承载力计算

基于有效应变模型,CFRP对钢筋混凝土梁抗剪承载力计算表达式可以写成以下形式^[13,17~19]:

$$V_f = E_f \rho_f \epsilon_{fe} b h_f (\cot \theta + \cot \beta) \sin \beta \quad (3)$$

式中: V_f 为碳纤维布抗剪承载力的提高值; E_f 、 ϵ_{fe} 和 ρ_f 分别为碳纤维布的弹性模量、有效应变和配布率; b 和 h_f 分别为梁的宽度和纤维布的粘贴高度(一般等于梁高); θ 和 β 分别为梁极限破坏时斜裂缝的倾角和纤维布粘贴角度.表1中已列出试验所测得的斜裂缝倾角 θ .

根据式(3),已知每根加固梁CFRP的抗剪贡献 V_f 和加固参数可以反推极限荷载下碳纤维布的有效应变 ϵ_{fe} ,并列入表1中.对表中的数据进行

分析,发现碳纤维布的有效应变与试验梁的剪跨比、配布率和具体加固形式有关^[17~19],简单地用纤维布的加固指标($\rho_f E_f$)对碳纤维布的有效应变进行经验回归^[5,6,13]很难得到较好的精度.为此,本文采用逐项因素、逐步深入分析的方法对有效应变的计算做了探讨.在配布率相同的情况下(梁 LA1、LA3、LA5、LA10 和 LA7),碳纤维布的有效应变和其极限应变的比值与剪跨比近似地呈现直线关系^[17],如图 5 所示,这也是我国《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》^[14]抗剪设计的思想.

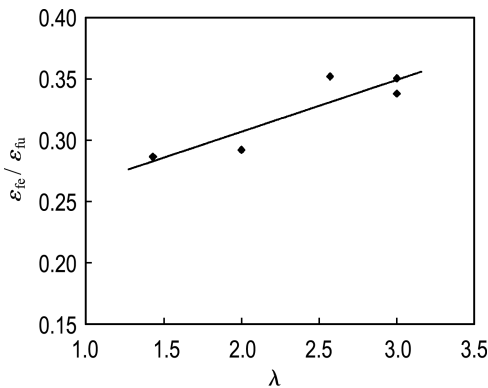


图 5 有效应变和极限应变的比值与剪跨比
Fig. 5 Ratio of effective strain to the ultimate strain vs. shear span ratio λ

图 5 中,相同配布率不同剪跨比下两者的关系可简单表示为(相关系数 $R = 0.897$)

$$\epsilon_{fe}/\epsilon_{fu} = 0.042\,3\lambda + 0.222\,4 \quad (4)$$

式中: ϵ_{fu} 为碳纤维布的极限拉应变.

设配布率等其他因素的影响效果为 $f(\omega)$,并将式(4)修正为式(5):

$$\epsilon_{fe}/\epsilon_{fu} = f(\omega)(0.042\,3\lambda + 0.222\,4) \quad (5)$$

同时定义加固特征系数

$$\omega = E_t \rho_{ef} / f_{cu}^{2/3} \quad (6)$$

式中: f_{cu} 为混凝土立方体抗压强度,计算时与 E_t 的单位同取为 MPa; ρ_{ef} 为考虑到相同加固量不同粘贴形式(ρ_f 相同, ω/s 不同)的加固梁其有效应变存在着明显的差异,引入的等效配布率:

$$\rho_{ef} = \rho_f \omega / s \quad (7)$$

式中: ω 和 s 分别为纤维布的粘贴宽度和粘贴间距.

由式(5)得

$$f(\omega) = \frac{\epsilon_{fe}}{\epsilon_{fu}(0.042\,3\lambda + 0.222\,4)} \quad (8)$$

做 $f(\omega)$ 和 ω 的关系点图(图 6),发现 $f(\omega)$ 与 ω 呈现较好的指数关系,采用指数函数逼近两者的关系,相关系数 $R = 0.95$,得

$$f(\omega) = 1.074\,9e^{-0.016\,4\omega} \quad (9)$$

联立式(5)~(9),可以得到极限状态下碳纤维布有效应变的计算式:

$$\epsilon_{fe} = [(0.045\,47\lambda + 0.239\,06)e^{-0.016\,4\omega}] \epsilon_{fu} \quad (10)$$

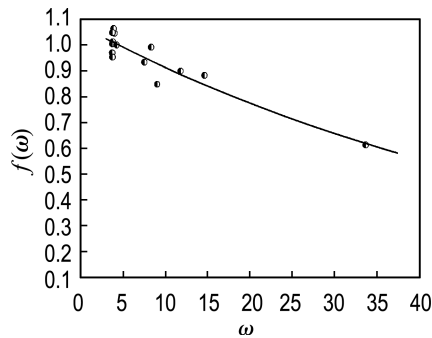


图 6 $f(\omega)$ 和 ω

Fig. 6 Relationship between $f(\omega)$ and ω

式(3)和(10)就是碳纤维布加固高强钢筋混凝土梁抗剪承载力的计算表达式.可以看到,碳纤维布的有效应变与剪跨比、配布率、纤维布的弹性模量以及混凝土的抗拉强度 $f_t (= 0.267 f_{cu}^{2/3})$ 有关.单纯地通过纤维布的加固指标($\rho_f E_f$)计算纤维布的有效应变^[5,6]必然存在着误差.根据式(3)和(10),计算 14 根加固梁的碳纤维布抗剪承载力,列于表 1 中,计算值与试验值的比较绘于图 7 中.图中,试验值与计算值比值的平均值为 1.014,变异系数为 4.3%,可见本文提出的公式与试验结果吻合较好.

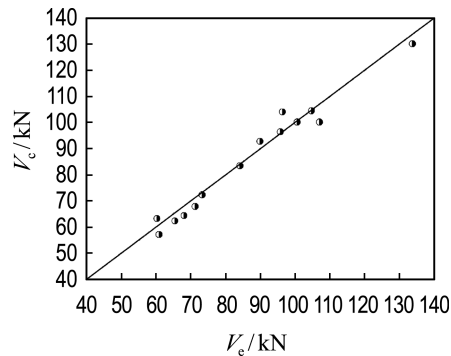


图 7 计算值 V_c 与试验值 V_e 的比较

Fig. 7 Predictions V_c vs. experimental results V_e

3.2 用 CFRP 进行抗剪加固的设计建议

与我国的《碳纤维片材加固混凝土结构技术规程》相衔接,基于有效应变模型,根据式(3),本文建议以下的设计公式:

$$V_f = \frac{E_f \epsilon_{fe}}{\gamma_f} \rho_f b h_f (\cot \theta + \cot \beta) \sin \beta \quad (11)$$

式中: γ_f 为极限状态下碳纤维布的分项系数,根据本次试验结果并参考文献[7、13],建议取 $\gamma_f = 1.40$, ϵ_{fe} 则按下式计算:

$$\epsilon_{fe} = [(0.045\ 47\lambda + 0.239\ 06)e^{-0.016\ 4\omega}](\alpha\epsilon_{fu}) \quad (12)$$

α 为考虑到碳纤维布实际极限应变与厂家标准测试的极限应变的差异而选取的折减系数,建议取 $\alpha = 0.75^{[13,19]}$.

根据文献[18]的研究成果,斜裂缝倾角与混凝土强度、配箍率、配筋率以及配布率无关,它的余切与试验梁的剪跨比有显著的线性关系,本文建议采用该线性公式计算 $\cot \theta$:

$$\cot \theta = 0.578\ 89\lambda + 0.200\ 65 \quad (13)$$

式(11)~(13)就是高强钢筋混凝土梁用 CFRP 进行抗剪加固的设计公式.采用该系列公式计算上述试验梁抗剪承载力的设计值,与试验值的比较绘于图 8 中.从图中可以看到,采用本文建议的设计公式计算试验梁的抗剪承载力的设计值均比试验值要低,局部点与试验值相当,设计是安全的,因此该设计公式可以作为高强混凝土梁用碳纤维布进行抗剪加固设计的参考依据.

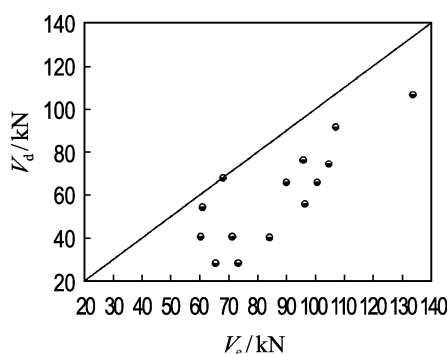


图 8 试验梁的设计值 V_d 与试验值 V_e 比较

Fig. 8 Design values V_d vs. experimental results V_e

4 结 语

采用四面缠绕的形式,本文系统地研究了基于碳纤维布拉断的碳纤维布加固高强钢筋混凝土

梁的抗剪性能.试验研究表明,对于高强混凝土梁,碳纤维布参与受力,使其极限承载力得到较大幅度的提高,多达 70% 以上.加固梁与无加固梁相比表现出更好的延性.试验梁的预损程度,对极限抗剪承载力的影响不大,可以按一次受力近似计算.剪跨比的大小直接影响到碳纤维布参与受力的程度,从而影响到加固梁的抗剪承载力.随着剪跨比的增加,碳纤维布的抗剪贡献也随着增加.基于有效应变模型,本文综合考虑加固量、加固形式、剪跨比、混凝土强度等因素的影响,建立了计算碳纤维布有效应变的经验表达式,从而得到与试验值较为吻合的抗剪承载力计算值,并最终给出基于碳纤维布拉断的高强钢筋混凝土梁用 CFRP 进行抗剪加固的建议设计公式.

参考文献:

- [1] 唐明述. 提高重大混凝土耐久性对节约资源、能源、保护环境意义重大[J]. 科学中国人, 1999, 4:14-16
- [2] 杜 婷,郭太平,林怀立,等. 混凝土材料的研究现状和发展应用[J]. 混凝土, 2006, 5:7-9
- [3] 赵 彤,刘明国,谢 剑. 碳纤维布用于改善斜向受力高强混凝土柱抗震性能的研究[J]. 土木工程学报, 2002, 35(3):13-19
- [4] 王苏岩,韩克双,曲秀华. CFRP 加固高强混凝土柱改善延性的试验研究[J]. 世界地震工程, 2005, 21(3):7-10
- [5] TRIANTAFILLOU T C. Shear strengthening of reinforced beams using epoxy-bonded FRP composites [J]. *ACI Structural Journal*, 1998, 95(2):386-394
- [6] TRIANTAFILLOU T C, COSTAS P A. Design of concrete flexural members strengthened in shear with FRP [J]. *Journal of Composites for Construction*, 2000, 4(11):198-205
- [7] AL-NAHLAWI G J, WIGHT J K. Beam analysis using concrete tensile strength in truss models [J]. *ACI Structural Journal*, 1992, 89:284-289
- [8] HSU T T. *Unified Theory of Reinforced Concrete* [M]. Florida: CRC Press, 1993
- [9] COLLINS M P. Toward a rational theory for RC members in shear [J]. *Journal of the Structural Division ASCE*, 1998, 124(12):1375-1417
- [10] VECCHIO F J, COLLINS M P. The modified compression-field theory for reinforced concrete

- elements subjected to shear [J]. **ACI Structural Journal**, 1986, **83**:386-394
- [11] DENIAUD C, CHENG J J R. Review of shear design methods for reinforced concrete beams strengthened with fiber reinforced polymer sheets [J]. **Canadian Journal of Civil Engineering**, 2001, **28**:271-281
- [12] DENIAUD C, CHENG J J R. Shear behavior of reinforced concrete T-beams with externally bonded fiber-reinforced polymer sheets [J]. **ACI Structural Journal**, 2001, **98**(3):386-394
- [13] CHEN J F, TENG J G. Shear capacity of fiber-reinforced polymer-strengthened reinforced concrete beams: fiber reinforced polymer rupture [J]. **Journal of Structural Engineering**, 2003, **129**(3):615-625
- [14] 中国工程建设标准化协会. CECS146:2003 碳纤维片材加固混凝土结构技术规程[M]. 北京: 中国计划出版社, 2003
- [15] 中国工程建设标准化协会. CECS 104:99 高强混凝土结构技术规程 [M]. 北京: 中国工程建设标准化协会, 1999
- [16] 李松辉. 碳纤维布加固桥梁的设计理论研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2003
- [17] 曹双寅, 滕锦光, 陈健飞, 等. 外贴纤维布加固梁斜截面纤维应变分布的试验研究[J]. 土木工程学报, 2003, **36**(11):6-11
- [18] 周英武, 王苏岩, 李宏男. 钢筋混凝土梁斜裂缝倾角的理论与试验分析[J]. 大连理工大学学报, 2008, **48**(2):235-239
- (ZHOU Ying-wu, WANG Su-yan, LI Hong-nan. Theoretical and experimental analyses of critical shear angle of RC beam [J]. **Journal of Dalian University of Technology**, 2008, **48**(2):235-239)
- [19] CHEN J F, TENG J G. Shear capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding [J]. **Construction and Building Materials**, 2003, **17**:27-41

Calculation of shear capacity of high strength reinforced concrete beams bonded with CFRP

ZHOU Ying-wu, WANG Su-yan*, LI Hong-nan

(State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: In-depth experimental studies on the shear performances of high strength RC beams bonded with CFRP were carried out, in which numerous influencing factors were properly considered, including the amount of CFRP sheets in use, the reinforcement ways, the shear span ratio, the damage degree and the shear reinforcement ratio. The results indicate that the shear capacities of the repaired beams are obviously increased. Damages in advance have little influences on the shear capacities of the beams. Shear span ratio and the shear reinforcement amount of CFRP sheets are the two important factors impacting the effective strain of CFRP strips and thus finally determine the shear capacities. Based on the effective strain model, a calculational expression of shear capacity is established which predicts identical results with the experimental ones. Combined with the national regulations in concrete structures strengthened with CFRP, design proposal of high strength RC beams bonded with CFRP for shear reinforcement is finally derived.

Key words: high strength concrete beam; CFRP; strengthening; shear; calculation of shear capacity