

文章编号: 1000-5013(2009)05 0553- 04

BFRP 与混凝土有效粘结长度的试验

邢建英, 杨勇新, 陈绪军, 胡 玲, 汪健根

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 通过 27 个混凝土与玄武岩纤维增强复合材料(BFRP)的粘结试件的单剪试验, 考察树脂种类、混凝土强度、粘结长度等因素对粘结性能的影响. 通过描述粘结界面破坏形态, 测量 BFRP 与混凝土界面的应变分布规律, 分析界面粘结应力的分布规律. 结果表明, 当混凝土强度在 C20~ C40 的强度等级范围内, 随着混凝土强度等级的提高, 有效粘结长度稍微有所减少, 可以确定为 80 mm.

关键词: 玄武岩纤维增强复合材料; 混凝土; 有效粘结长度; 单剪试验

中图分类号: TU 528.572 文献标识码: A

纤维增强复合材料(FRP)与混凝土的粘结性能, 是外贴 FRP 加固混凝土结构技术的关键问题^[1-4]. 通过 FRP 与混凝土界面的粘结应力, 实现 FRP 与混凝土之间的荷载传递, 从而使这两种材料组合在一起共同工作^[5]. FRP 与混凝土之间具有良好的粘结性能, 是保证 FRP 与混凝土共同受力变形的前提. 近年来, FRP 在建筑领域得到了广泛的应用, 但现有材料的价格昂贵使其应用受到了限制. BFRP 是一种新型材料^[6-7], 具有抗拉强度高、耐腐蚀、耐高温、抗裂性能好且性价比高的优点, 可能成为其他材料良好的替代品. 本文通过 BFRP 与混凝土的单剪试验, 确定其有效粘结长度.

1 试验方法

1.1 材料

试验用混凝土试块强度采用 C20, C30, C40 等级. C20, C30 采用 32.5 强度等级的普通水泥, C40 采用 42.5 强度等级的普通水泥; 砂为中砂; II 区砂; 5~ 20 mm 碎石. 混凝土的各项指标如表 1 所示. 表 1 中, ρ 为材料的密度, f_{cu} 为立方体抗压强度, f_t 为抗拉强度.

试验采用的玄武岩纤维布(辽宁营口)厚度为 0.111 mm. 为考察现场使用的 BFRP 的实际力学性能, 根据国家标准 GB/T 3354- 1999《定向纤维增强塑料拉伸性能实验方法》制作试样, 进行 BFRP 的力学性能试验. 试验测得其抗拉强度为 1.859 1 GPa, 弹性模量为 97.8 GPa, 极限拉伸应变约为 1.9%. 粘结剂采用浸渍树脂 LiCa ($m_A : m_B = 4 : 1$) 和小西环氧树脂 ($m_A : m_B = 2 : 1$), 其力学性能如表 2 所示. 表 2 中, f_{ta} 为拉伸强度, E 为弹性模量, ϵ_a 为极限应变, f_{ca} 为压缩强度, f_{sa} 为剪切强度.

表 1 混凝土材料的各项指标

Tab. 1 Indexes of concrete

强度等级	$\rho / \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$				f_{cu} / MPa	f_t / MPa
	水泥	石子	砂	水		
C20	273	1 193	732	202	20.2	1.55
C30	376	1 209	623	192	44.2	2.50
C40	480	1 214	545	190	63.5	2.90

表 2 粘结材料的力学性能

Tab. 2 Mechanical performance of bond material

粘结剂	f_{ta} / MPa	E / GPa	$\epsilon_a / \%$	f_{ca} / MPa	f_{sa} / MPa
LiCa	46.03	2.61	2.72	70.53	24.53
小西	49.43	2.67	1.82	93.32	16.45

收稿日期: 2008-08-28
通信作者: 杨勇新(1963-), 男, 教授, 博士后, 主要从事新型结构加固技术的研究. E-mail: yangyongxin@tjhu.edu.cn.

基金项目: 国家科技攻关(国际合作)项目(2005DFBA0002); 华侨大学科研基金资助项目(06HZR04)
© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2 试件制作

试验的前期先制作混凝土板,板厚为 70 mm,待 28 d 后切割成混凝土试件,尺寸为 150 mm × 100 mm × 50 mm;玄武岩纤维布的粘结长度为 120 mm,宽度为 50 mm. 先用刷子将混凝土试块表面的浮尘去掉,确定好粘结区域后,表面用丙酮溶液擦洗一遍,待丙酮完全挥发后,将混合好的 LiCa 浸渍树脂涂在粘结区域表面,并将玄武岩纤维布粘贴在混凝土表面. 5 d 后在纤维布上粘贴应变片,7 d 后待浸渍树脂完全固化后开始试验.

应变片沿纤维布中线束布置,如图 1 所示. 在粘结长度范围内实行“距加载端距离先密后疏”的粘结原则,用于研究在粘结长度范围内纤维布的内力传递机理. 在距离加载端 30 mm 处的纤维布与混凝土的非粘结区域,粘贴一个应变片来测量非粘结区域的纤维布应变情况^[8]. 此次试验共计 27 个试件,考虑的参数为混凝土的强度等级,设计变量为纤维布的厚度、宽度和粘结剂的种类.

1.3 试验过程

试验在粘结剥离试验装置^[9]中进行,采用手动液压千斤顶等速加载,加载方式如图 2 所示. 当荷载在较低水平时,试块处于弹性阶段,BFRP 与混凝土粘结良好,两者共同工作. 随着荷载逐渐增大,BFRP 上的应变呈线性增加,所到达的工作的应变片与加载端的距离也逐渐增加;达到破坏荷载时,试件的界面发生一次性破坏,荷载迅速降至零点左右.

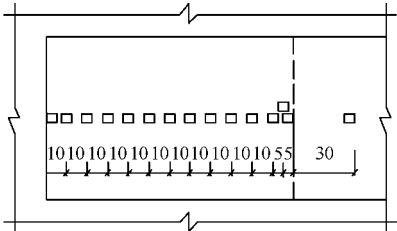


图 1 纤维布上应变片的布置图 (mm)
Fig. 1 Layout of strain gages on FRP (mm)

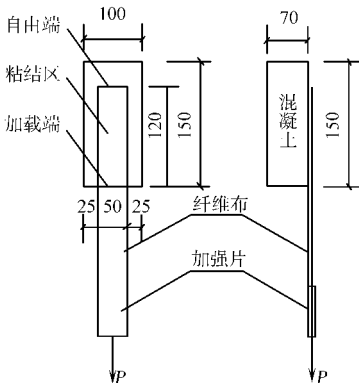


图 2 加载方式和试件尺寸 (mm)
Fig. 2 Loading method and specimen size (mm)

2 试验结果与分析

2.1 试验数据

试验结果的数据,如表 3 所示. 表 3 中, f_c 为混凝土强度, F_u 为极限荷载, L 为粘结长度.

表 3 试验数据表

Tab. 3 Data of tests

试件编号	f_c / MPa	L / mm	粘结剂	F_u / kN	试件编号	f_c / MPa	L / mm	粘结剂	F_u / kN
L2 (5) 120 1	20. 2	120	Lica	7. 046	L3 (5) 80 3	44. 2	80	Lica	7. 089
L2 (5) 120 2	20. 2	120	Lica	8. 586	L4 (5) 80 1	63. 5	80	Lica	6. 012
L2 (5) 120 3	20. 2	120	Lica	6. 099	L4 (5) 80 2	63. 5	80	Lica	5. 983
L3 (5) 120 1	44. 2	120	Lica	7. 165	L4 (5) 80 3	63. 5	80	Lica	5. 762
L3 (5) 120 2	44. 2	120	Lica	6. 395	X2 (5) 80 1	20. 2	80	小西	5. 329
L3 (5) 120 3	44. 2	120	Lica	7. 579	X2 (5) 80 2	20. 2	80	小西	5. 684
L4 (5) 120 1	63. 5	120	Lica	4. 026	X2 (5) 80 3	20. 2	80	小西	6. 454
L4 (5) 120 2	63. 5	120	Lica	7. 520	X3 (5) 80 1	44. 2	80	小西	5. 980
L4 (5) 120 3	63. 5	120	Lica	5. 329	X3 (5) 80 2	44. 2	80	小西	4. 796
L2 (5) 80 1	20. 2	80	Lica	6. 972	X3 (5) 80 3	44. 2	80	小西	5. 862
L2 (5) 80 2	20. 2	80	Lica	7. 632	X4 (5) 80 1	63. 5	80	小西	4. 914
L2 (5) 80 3	20. 2	80	Lica	5. 876	X4 (5) 80 2	63. 5	80	小西	5. 921
L3 (5) 80 1	44. 2	80	Lica	7. 212	X4 (5) 80 3	63. 5	80	小西	5. 151
L3 (5) 80 2	44. 2	80	Lica	6. 983					

2.2 粘结破坏特征

BFRP 和混凝土的粘结破坏发生在混凝土中,说明试件的施工质量合格,粘结树脂的渗透性良好. 破坏时,都是在纤维布上被拉下一块混凝土,且呈三角状,如图 3 所示. 这种情况和 CFRP 与混凝土的粘结破坏特征相同.

2.3 粘结面的应力应变分布特点

不同等级荷载下, 沿应变片的布置方向各个应变测点的纤维应变分布形状随荷载的变化规律, 如图 4 所示。0 mm 表示加载端纤维布的应变, 后面的 20~ 100 mm 表示距加载端相应距离处的应变。从图 4 中可知, 加载初期, 纤维应变分布曲线呈现明显的凹形形状, 随着距加载端距离的增加, 纤维应变急剧降低。当加载端开始出现剥离后, 加载端处的应变急剧增长; 当荷载增加到一定值后, 纤维产生应变的区域即传力区域基本上不再增长, 只是传力区域内纤维应变随荷载的增加而增加。直到纤维应变分布曲线基本上发展为直线形状, 继续加载, 发生剥离破坏, 且破坏是瞬间的。

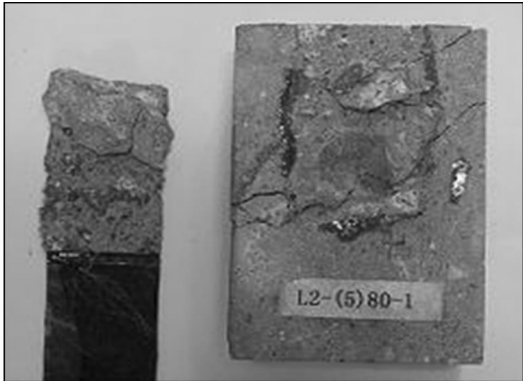


图 3 试件的破坏状况

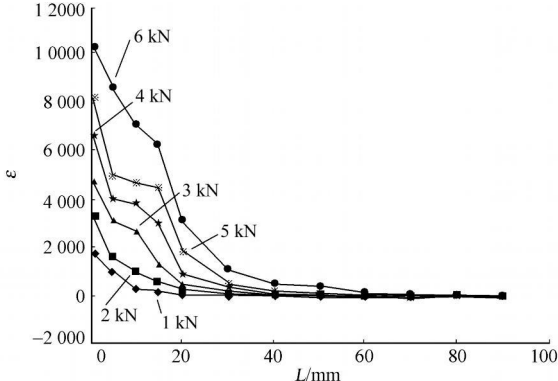


图 4 BFRP 的荷载-应变图

Fig. 3 Failure of specimens

Fig. 4 Diagram between the load and strain of BFRP

在粘结长度均为 120 mm 的情况下, 3 种强度等级的混凝土与玄武岩纤维布的粘结应力分布情况, 如图 5 所示。从图 5 中可知, 粘结剪应力主要在靠近加载端 80 mm 以内的区域, 随着距加载端距离的增加, 粘结应力逐渐降低。同时, 随着荷载的增加, 粘结应力的峰值位置向远离加载端方向稍微有所移动, 并且, 这个区域的长度会随混凝土的强度级别的增减有所变化。在 C20 混凝土与纤维布粘结的情况下, 随着荷载的增加, 其粘结应力到达的区域在超过 80 mm 之后, 应力在 0.05 MPa 上下波动; 而 C30 混凝土与纤维布的粘结随荷载的增加, 粘结应力所到达的区域稍小于前者; C40 混凝土与纤维布的粘结受力区域在到达 80 mm 之前, 应力就在 0.05 MPa 上下波动。由试验结果得出, 在 C20~ C40 的强度等级范围内, 随着混凝土强度等级的提高, 有效粘结长度稍微有所减少。

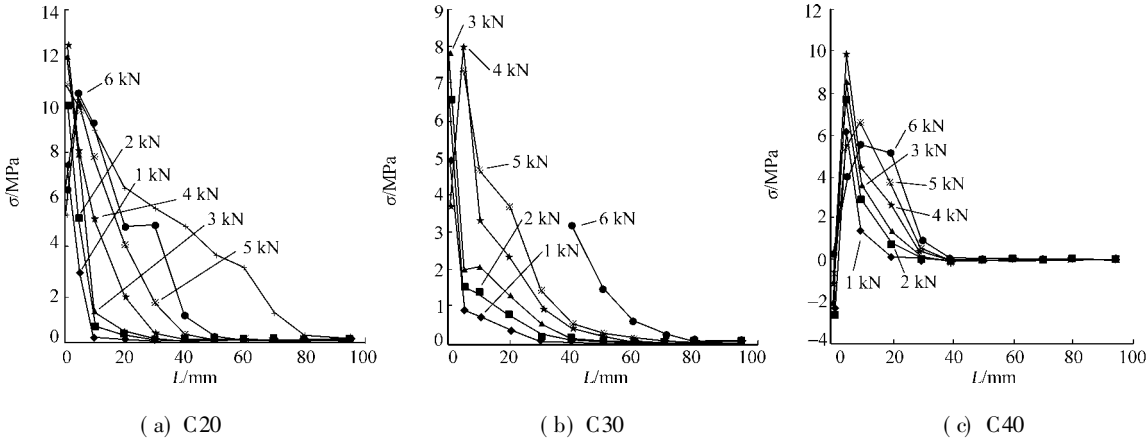


图 5 混凝土和纤维布粘结应力图

Fig. 5 Bond stress between concrete and FRP

2.4 有效粘结长度的确定

外贴纤维布与混凝土的粘结界面的一个重要特征是, 极限粘结荷载不会随着粘结长度的增加而持续提高, 即存在一个有效粘结长度^[10]。当荷载开始增加时, BFRP 和混凝土的粘结应力逐渐增大, 而距加载点越远的地方, 粘结应力越小。当荷载增加到极限荷载的 50% 时, 应力的传力区域达到 55 mm 处, 即在 55 mm 处应力在 0.05 MPa 以下波动。当荷载增加到 6 kN 左右时, 加载端应力达到 9 MPa。

在距加载点的距离 80 mm 左右的地方, 粘结应力大约为 0.05 MPa; 而在距加载端 80 mm 以后的

部分, 应力仍在 0.05 MPa 左右波动. 当粘结长度 L 取 80 mm 时, 其极限荷载与 L 为 120 mm 时的荷载相当. 用小西环氧树脂与纤维布粘结进行试验, 粘结长度同样取为 80 mm, 极限荷载没有增加. 因此, 确定出 BFRP 与混凝土的有效粘结长度为 80 mm.

3 结束语

通过试验研究了玄武岩纤维布与混凝土间的受力性能, 分析玄武岩纤维布与混凝土间的粘结应力分布规律. 结果表明, 随着荷载增加, 粘结界面上纤维布的应变和粘结应力呈规律变化. 当混凝土强度等级在 C20~ C40 范围内, 玄武岩纤维布与混凝土的有效粘结长度可以确定为 80 mm.

参考文献:

- [1] UEDA T, SATO Y, ASANO Y. Experimental study on bond strength of continuous carbon fiber sheet[C] // The Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer for Reinforced Concrete Structures. Michigan: American Concrete Institute, 1999: 407-416.
- [2] 杨勇新, 岳清瑞, 胡云昌. 碳纤维布与混凝土粘结性能的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2001, 22(3): 36-41.
- [3] 陆新征. FRP-混凝土界面行为研究[D]. 北京: 清华大学, 2005.
- [4] 柴振岭, 王全凤, 黄奕辉, 等. 玻璃纤维布加固砖墙抗震性能试验[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2007, 28(1): 59-62.
- [5] 郭樟根, 孙伟民, 曹双寅. FRP 与混凝土界面粘结-滑移本构关系的试验研究[J]. 土木工程学报, 2007, 3(3): 1-5.
- [6] 杨勇新, 杨 萌, 赵 颜, 等. 玄武岩纤维布的耐久性试验研究[J]. 工业建筑, 2007, 37(6): 11-14.
- [7] 贾丽霞, 蒋喜志, 吕 磊, 等. 玄武岩纤维及其复合材料性能研究[J]. 纤维复合材料, 2005, 12(4): 13-14.
- [8] 庄荣忠, 杨勇新, 王全凤, 等. CFRP 与木材的有效粘结长度的试验研究[C] // 全国第五届 FRP 学术交流会. 广州: 中国土木工程学会, 2007.
- [9] 陈 莹. 玻璃纤维复合材料与粘土砖的粘结性能研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2005.
- [10] 滕锦光. FRP 加固混凝土结构[M]. 李 荣, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 11-26.

Experimental Study on the Effective Bond Length Between BFRP Sheets and Concrete

XING Jian-ying, YANG Yong-xin, CHEN Xu-jun,
HU Ling, WANG Jian-gen

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Single shear tests of 27 specimens are conducted to investigate the bond properties between basalt fiber reinforced polymer and concrete, such as the effect of adhesive types, concrete strength and bond length. The interface bond failure forms are described, then the strain distribution between basalt fiber reinforced polymer (BFRP) and concrete is measured, and the distribution of shear bond stress between BFRP and concrete is analyzed. The test results indicate that: with increasing the concrete strength grade from C20 to C40, the effective bond length decreases slightly, the effective bond length between BFRP and concrete can be fixed on 80 mm.

Keywords: basalt fiber reinforced polymer; concrete; effective bond length; single shear test

(责任编辑: 钱 筠 英文审校: 方德平)