

文章编号: 1000-5013(2010)01-0074-04

BFRP与木材的有效粘结长度的试验

庄荣忠, 杨勇新

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 研究玄武岩纤维布(BFRP)与木材间的受力性能, 分析BFRP与木材间的粘结应力分布规律. 结果表明, 加载初期, 纤维布上的应变主要存在于加载端附近, 当荷载逐渐增加时, 应变也向加载远端增大; 随着与加载点距离的增加, 粘结应力逐渐降低; 随着荷载的增加, 粘结应力峰值位置向远离加载点方向稍有移动; 在含水率为16.3%条件下, BFRP与木材的有效粘结长度为100 mm. 粘贴玄武岩纤维布是一种加固木结构的有效方法, 木材本身纤维构造对BFRP加固和增强木材的极限粘结荷载有着直接的影响.

关键词: 玄武岩纤维布; 木材; 粘结应力; 有效粘结长度; 单剪试验

中图分类号: TU 599.02⁺ 6

文献标识码: A

纤维增强复合材料(FRP)因其轻质、高强、耐腐蚀、施工方便快捷、修复加固效果好等优异性能, 在土木工程领域得到了突飞猛进的发展. 20世纪90年代初, 美国、日本及欧州的一些国家开始FRP加固与增强木结构的研究^[1-9]. 近些年来, 国内也开始了这方面的研究^[10-16]. 目前, FRP主要用于加固木构件和节点, 提高木结构既有的承载力、刚度和抗震性能. 试验研究和工程实践结果表明, FRP加固木结构技术中最关键的基础理论问题之一, FRP与木结构的粘结性能是保证两者共同工作, 充分发挥纤维材料良好的力学性能的主要因素. 到目前为止, 国内对FRP与木材的界面粘结性能方面的研究甚少. 本文对玄武岩纤维布与木材间的受力性能进行研究, 得出了玄武岩纤维布与木材的有效粘结长度.

1 试验方法

1.1 材料

(1) 木材采用南方古建筑受力构件中常用的福杉, 其基本物理力学性能: 水的质量分数为16.3%, 全干密度为 $0.398 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 抗弯强度为63.2 MPa, 顺纹抗压强度为38.5 MPa, 弦面、径面、端面的硬度分别为2 200, 1 870, 3 350

(2) 玄武岩纤维布采用单向玄武岩纤维布, 厚度为0.111 mm, 单位面积质量为 $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. 试验测得其抗拉强度为1 859.1 MPa, 弹性模量为97.8 GPa, 极限拉伸应变约为1.9%.

(3) 浸渍树脂(粘结材料)选用日本小西E2500S型树脂, 为双组分环氧类粘结剂, 其混合体积比为2:1. 粘结材料的力学性能: 拉伸强度为49.4 MPa, 弹性模量为2 677 GPa, 极限应变为1.8%, 压缩强度为93.3 MPa, 剪切强度为16.4 MPa. 其中: 粘结剂的剪切强度为钢-钢单搭接接头拉伸剪切强度.

1.2 试件制作

为了最大程度上去除木材本身因素的影响, 选用含水率相同, 不含木节或木节不在粘结面的同一批木材试件. 试件长度(顺纹方向)为240 mm, 宽度为120 mm, 厚度为60 mm; 玄武岩纤维布的宽度为40 mm, 粘结长度(L)分别为40, 80, 100, 120, 160 mm. 试件尺寸如图1所示.

收稿日期: 2008-10-18

通信作者: 杨勇新(1963-), 男, 教授级高级工程师, 博士后, 主要从事结构基本理论及高性能复合材料的研究. E-mail: yangyongxin@tsinghua.org.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(04BS204); 泉州市科技计划项目(2006G7)

制作试件时, 将木材表面刨平, 确定好粘结区域, 用刷子去掉木材表面的浮尘, 粘结区域用丙酮清洗, 以除去其表面的污物. 待丙酮完全挥发后, 涂敷配套的 E810LS 型底层树脂. 经过 1~ 2 h, 在木材表面涂上混合好的浸渍树脂, 并将玄武岩纤维布铺贴在木材表面. 3 d 后, 在试件的玄武岩纤维表面粘贴应变片; 7 d 后, 待粘结树脂充分固化后开始试验.

应变片沿 FRP 中线布置, 在粘贴长度范围内不等间距布置, 间距为 5~ 20 mm, 在加载端布置较密, 在自由端布置较疏, 用于研究粘结长度范围内 FRP 的内力转递机理; 在距离接头加载端 50 mm 处贴一应变片, 用于测量接头外 FRP 的应变.

1.3 试验过程

试验在粘结剥离试验装置^[17]中进行, 加载方式如图 1 所示. 当粘结长度为 80 mm 时, 沿粘结长度方向的玄武岩纤维布的荷载-应变图, 如图 2 所示. 图 2 中: - 50 mm 表示悬空段纤维布的应变, 0 mm 表示加载端纤维布的应变; 5 mm, 10~ 80 mm 等均表示距加载端一定距离的应变.

当荷载水平较低时, 木材试块处于弹性工作阶段, 玄武岩纤维布与木材粘结完好, 二者共同工作. 随着荷载的增加, 玄武岩纤维布上的应变线性增长. 当荷载达到破坏荷载时, 试件的界面就发生一次性剥离破坏, 荷载迅速下降至零.

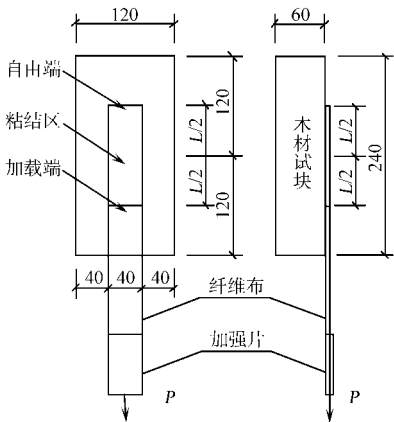


图 1 加载方式和试件尺寸 (mm)

Fig. 1 Loading method and specimen size (mm)

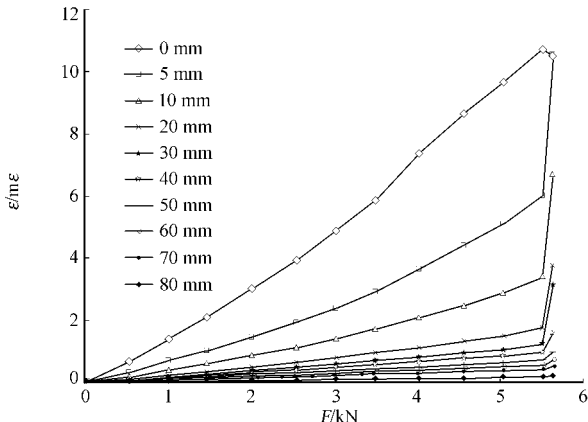


图 2 BFRP 的荷载-应变图

Fig. 2 Relationship between load and strain of BFRP

2 结果与分析

2.1 粘结破坏特征

破坏形式都为 FRP 与木材的剥离, 即剥离发生在木材表层, 说明试件的施工质量良好, 底层树脂的渗透性好, 粘结树脂粘结充分. $L=80\text{ mm}$ 时, 试件的破坏情况如图 3 所示.

通常破坏时, 木材表面都会被拉下来一大片木片, 大部分破坏面凹凸不平, 少数较为平整. 这种情况和 BFRP 与混凝土间的粘结破坏面特征类似, 都具有不确定性^[18-19], 其产生和发展具有随机性. 从极限粘结荷载可以看出, 剥离破坏面较为平整的试件的极限粘结荷载低于破坏面凹凸不平的试件, 这跟木材本身纤维构造有直接关系.

2.2 粘结面的应力分布特点

不同粘结长度情况下, 在荷载增加时, BFRP 布上应变沿粘结长度方向分布, 以及粘结应力分布, 分别如图 4, 5 所示. 由图 4, 5 可知, 在加载初期, 纤维布上的应变主要存在于加载端附近, 在远离加载端区域的应变很小. 当荷载逐渐增加时, 应变也向加载远端方向增大.

剪切粘结应力主要在靠近加载端 100~ 120 mm 以内的区域. 随着距加载点距离的增加, 粘结应力逐渐降低, 离加载点 100 mm 后, 粘结应力基本为零. 同时, 随着荷载的增加, 粘结应力峰值位置向远离加载点方向稍微有移动.

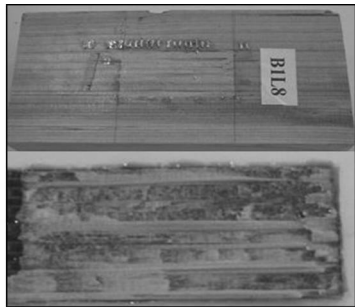


图 3 试件破坏情况

Fig. 3 Failure of specimens

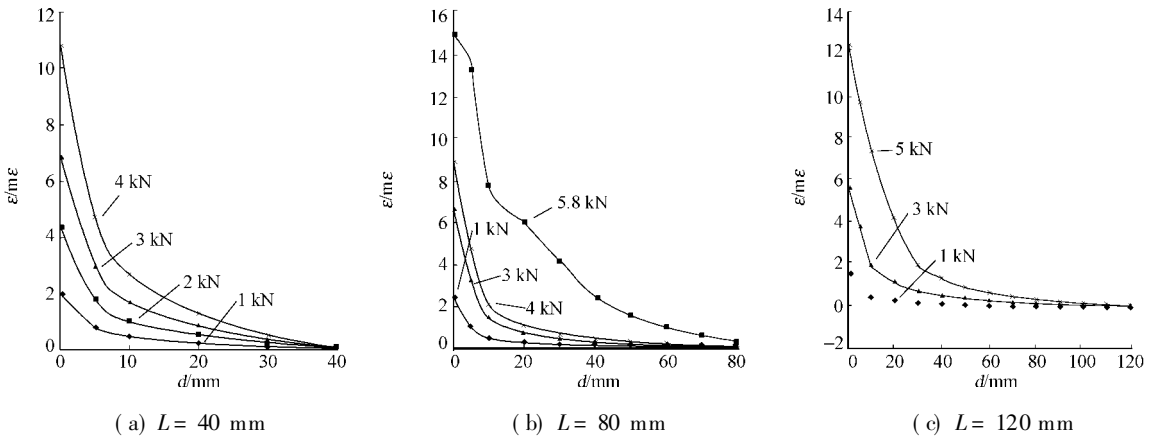


图 4 应变沿粘结长度方向分布

Fig. 4 Strain distribution along the bonded length

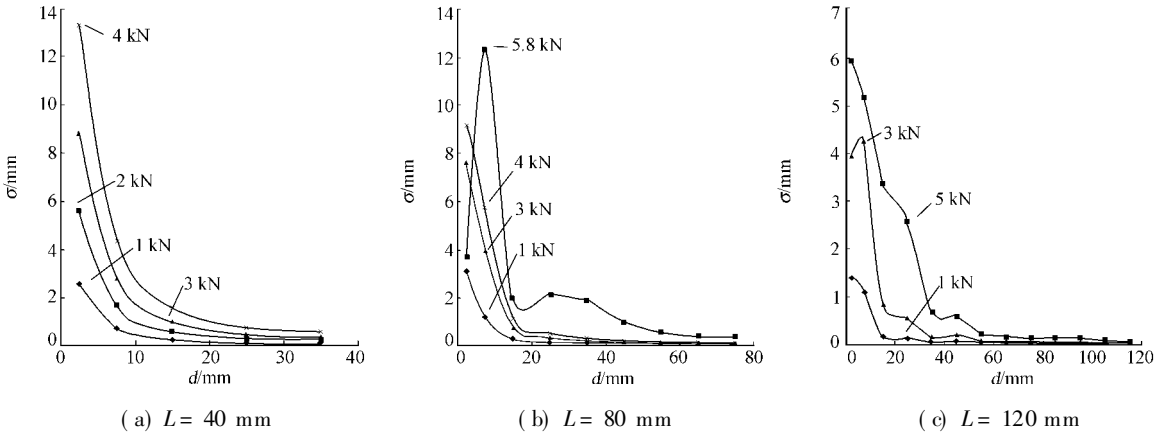


图 5 沿粘结长度方向粘结应力分布

Fig. 5 Bond stress distribution along the bonded length

2.3 有效粘结长度的确定

外贴纤维布与混凝土粘结界面的一个重要特点是, 极限粘结荷载不会随着粘结长度的增加而持续提高, 而且不论粘结长度有多长, FRP 都可能达不到其极限抗拉强度, 即存在一个有效粘结长度的概念^[20]. 同样, FRP 与木材也同样存在这个特点. 极限粘结荷载与粘结长度的关系, 如图 6 所示.

从图 6 可知, 随着玄武岩纤维布(BFRP)与木材粘结长度的增加, 其极限粘结荷载不呈线性增长关系. 粘结长度从 40 mm 增加到 100 mm 时, 极限粘结强度有明显的增长. 当粘结长度 L 大于 100 mm, 极限粘结强度没有增长. 因此, 基于试验结果, 玄武岩纤维布与木材(福杉)的有效粘结长度为 100 mm.

3 结束语

研究玄武岩纤维布(BFRP)与木材间的受力性能, 分析 BFRP 与木材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; 在含水率为 16.3% 的条件下, BFRP 与木材(福杉)的有效粘结长度为 100 mm.

参考文献:

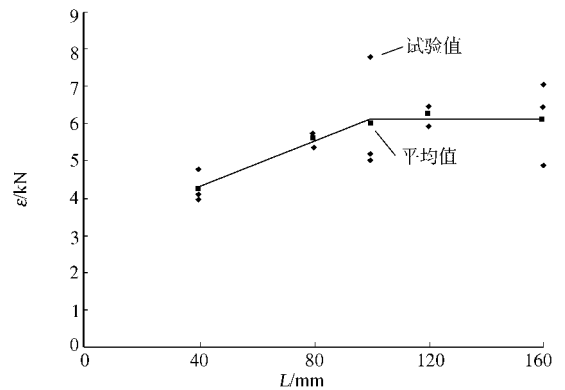


图 6 极限粘结荷载与粘结长度的关系

Fig. 6 Relationship between the ultimate load and the bond length

[1] 王全凤, 杨勇新, 岳清瑞. FRP 复合材料及其在土木工程中的应用研究[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2005, 26

- (1): 58.
- [2] GENTILE C, SVECOVA D, RIZKALLA S. Timber beams strengthened with GFRP bars: Development and applications[J]. Journal of Composites for Construction, ASCE, 2002, 6(1): 11-20.
- [3] LORENZIS L D, SCIALPI V, TEGOLA A L. Analytical and experimental study on bonded in CFRP bars in glulam timber[J]. J Compos Part (B), 2005, 36(4): 279-289.
- [4] JONATHAN P A. Evaluating the durability of wood/FRP bonds through chemical kinetics using a range of test method[D]. Bangor: The University of Wales, 1998.
- [5] YONG Hong. Fatigue and fracture of the FRP wood interface: Experimental characterization and performance limits [D]. Orono: The University of Maine, 2003.
- [6] BARBERO E, DAVALOS J, MUNIPALLE U. Bond strength of FRP wood interface[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composite, 1994, 13(9): 835-854.
- [7] KIM Y, DAVALOS J F, BARBERO E J. Delamination buckling of FRP layer in laminated wood beams[J]. Composite structures, 1997, 37(3/4): 311-320.
- [8] DAVALOS J F, QIAO P Z, RAMAN P N, et al. Mode I fracture toughness of fiber reinforced composite wood bonded interface[J]. Journal of Composite materials, 1998, 32(10): 987-1013.
- [9] WANG J L, QIAO P Z. Fracture toughness of wood/wood and wood/FRP bonded interfaces under mode II loading [J]. Journal of Composite materials, 2003, 37(10): 875-897.
- [10] 张大照. CFRP 布加固修复木柱梁性能研究工作[D]. 上海: 同济大学, 2003.
- [11] 熊学玉, 张大照. CFRP 布加固木柱性能试验研究[J]. 滁州职业技术学院学报, 2003, 2(3): 5-8.
- [12] 马建勋, 蒋湘闽, 胡平, 等. 碳纤维布加固木梁抗弯性能的试验研究[J]. 工业建筑, 2005, 35(8): 35-39.
- [13] 马建勋, 胡平, 蒋湘闽, 等. 碳纤维布加固木柱轴心抗压性能试验研究[J]. 工业建筑, 2005, 35(8): 40-44.
- [14] 周钟宏. 碳纤维布加固木结构构件的性能研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2005.
- [15] 周钟宏, 刘伟庆. 碳纤维布加固木柱的轴心受压试验研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(3): 44-48.
- [16] 贾卉琳, 张敏, 吴刚, 等. FRP 片材加固木圆柱的试验研究[C] // 2005 年全国 FRP 与结构加固学术会议. 西安: 西安交通大学, 2005: 151-156.
- [17] 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: 18-26.
- [18] 杨勇新, 岳清瑞. 碳纤维布与混凝土粘结破坏面特征[J]. 工业建筑, 2003, 33(9): 1-3.
- [19] 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): 36-42.
- [20] 滕锦光, 陈建飞, 史密斯 S T. 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.

Experiment on the Effective Bond Length Between BFRP Sheet and Wood

ZHUANG Rong-zhong, YANG Yong-xin

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

Abstract: The mechanical properties and distribution of bond stress between basalt fiber reinforced polymer (BFRP) sheet and wood are investigated experimentally. The strain of sheet mainly occurs in loading end in the initial load. With the increase of load, the strain extends to the remote end; the bond stress gradually reduces from the loading end to the remote end; the peak bond stress locates slightly away from the loading end. For 16.3% moisture content, the effective bond length between BFRP and wood is 100 mm. Bonding BFRP sheet is an effective method to strengthen wood structure, the structure of wood fiber influences directly the BFRP strengthening and the ultimate bond load.

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

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)