

文章编号: 1000-5013(2007) 01-0059-04

玻璃纤维布加固砖墙抗震性能试验

柴振岭, 王全凤, 黄奕辉, 杨勇新

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 通过 1 片未加固砖墙体和 4 片玻璃纤维布加固砖墙体抗震性能的试验, 对墙体的滞回特性、刚度退化性能、变形性能及耗能性能进行系统分析. 研究表明, 加固方式对墙体的刚度退化性能和变形性能影响不大, 但对墙体的耗能性能影响较明显. 按照文中提出的加固方式粘贴玻璃纤维布, 能有效地提高墙体的极限荷载、减缓墙体的刚度退化、增强其变形能力和耗能能力.
关键词: 玻璃纤维布; 加固; 带壁柱砖墙; 抗震性能
中图分类号: TU 398⁺. 502 文献标识码: A

目前, 关于纤维增强复合材料(Fiber Reinforced Polymer, FRP) 加固砌体结构方面的研究比较少, 且加固的对象多为矩形截面墙, 加固所用的材料多为碳纤维增强复合材料(CFPR) . 本文研究的是玻璃纤维布(Glass Fiber Reinforced Sheet, GFS) 加固带壁柱砖墙抗震性能的试验研究, 从加固材料、加固对象上讲均有一定的研究价值.

1 试验方案

综合考虑各方面因素, 墙体的高宽比定为 1/2, 墙体长取为 1 500 mm, 高为 750 mm, 墙厚为 240 mm, 壁柱截面为 240 mm × 240 mm. 本次试验共制作 5 个试件, 其参数变化如表 1 所示. 表中, GW1 为非加固试件, f_{cu} 为砂浆抗压强度, n 为单面 FRP 条数, b 为 FRP 条带宽度, η_s 为面积加固率, η_v 为体积加固率. 其余 4 个试件分别采用了不同的加固方式, 但加固量相同.

表 1 试件情况一览表

Tab. 1 Details of the masonry specimens

试件	f_{cu} / M Pa	加固形式	n	b / mm	η_s / (%)	η_v / (%)
GW 1	2. 67					
GW 2	3. 55	水平	3(水平)	100	40. 0	0. 056
GW 3	3. 38	混合	3 (水平)	50	40. 3	0. 057
			2 (斜向)	70		
GW 4	3. 43	斜向分散 (等宽)	4(次斜)	75	42. 0	0. 059
			2(主斜)	75		
GW 5	3. 15	斜向分散 (不等宽)	4(次斜)	60	42. 7	0. 060
			2(主斜)	90		

本试验采用混合控制加载方式, 竖向荷载 320 kN 一次性加足. 在水平荷载加载初期采用力控制, 第 1 级荷载加至 80 kN, 然后每级加载增量为 25 kN, 每级荷载循环一次. 在力控制的同时实时观察墙顶部位移大小, 在某个力控制过程中的位移比上级荷载的最大位移大 1 mm 时, 则从下级荷载开始采用位移控制, 并以该级荷载的最大位移作为基数位移. 然后以位移增量为 1 mm 进行递增, 每级荷载循环

收稿日期: 2006-06-01
作者简介: 柴振岭(1977-), 男, 助教, 硕士, 主要从事土木工程的研究. E-mail: superhquzlc@ 163. com.
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863) 项目(2001AA 336010)

一次. 当试件破坏或者荷载下降到 85% 极限荷载时, 试验停止. 试件所受的水平荷载(P)大小由拉压传感器来测定. 位移(Δ)主要通过布置于墙体上的位移计来测量, 并以墙中部的相对位移作为控制位移.

2 试验结果分析

2.1 各个试件滞回性能初步分析

结构或构件在荷载(P)作用下得到的荷载-变形曲线叫做滞回曲线, 又称为恢复力曲线. 墙体的滞回曲线表示墙体的变形履历过程, 也表示墙体在外荷载去除后恢复到原来形状的能力. 它既可全面描述墙体的弹、塑性性质和抗震耗能性能, 又概括了构件的强度、刚度和延性等力学特征, 是抗震性能计算的主要依据. 滞回环曲线通常可归纳为 4 种基本形态, 即梭形、弓形、反 S 形和 Z 形. 在多数构件中, 往往开始是梭形, 然后发展到弓形、反 S 形, 甚至最后发展到 Z 形^[1]. 图 1 为各墙体的滞回曲线. 总的来看, 除

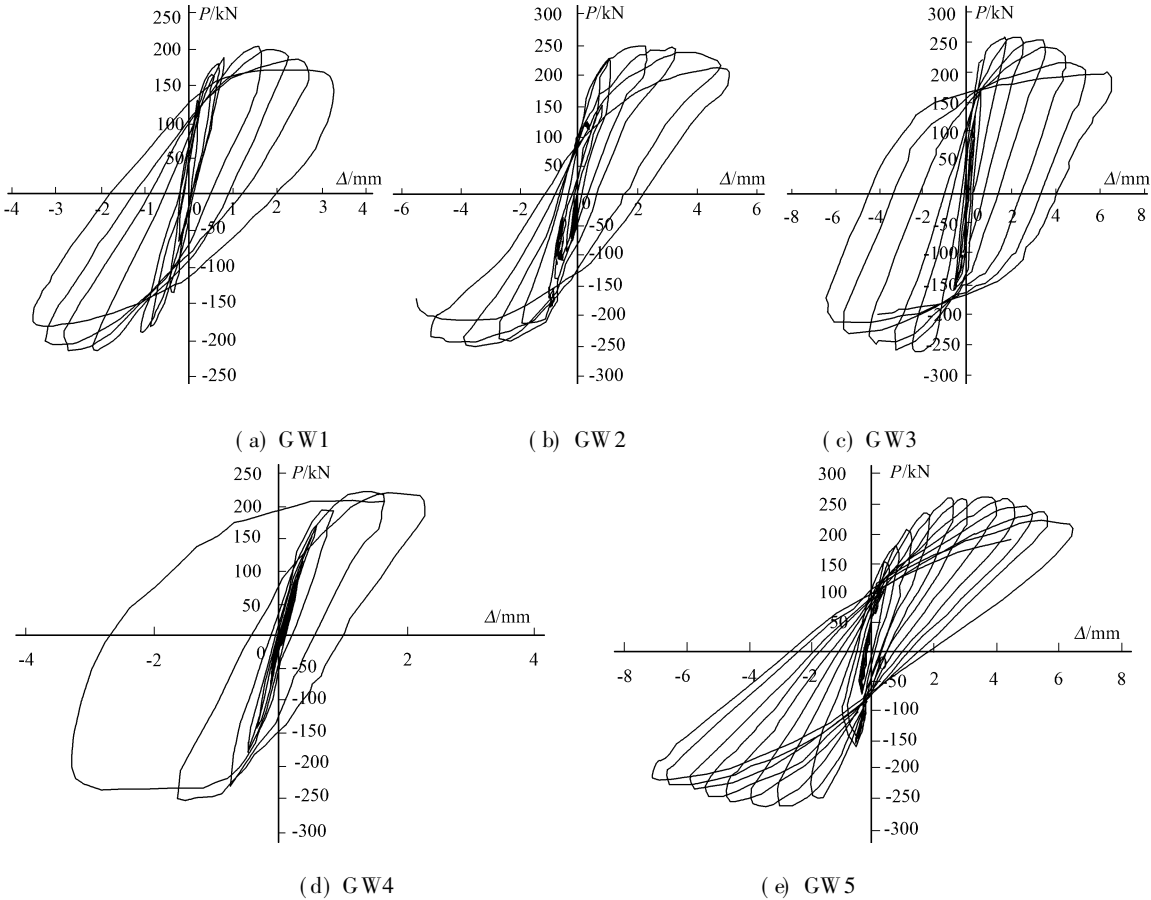


图 1 各个试件滞回曲线

Fig. 1 Hysteretic curves between load and displacement

了 GW2 为反 S 形外, 其余都近似为梭形. 对于产生梭形曲线的墙体, 主要说明墙体在加载过程中存在压弯作用; 对于产生反 S 形曲线的墙体(GW2), 则说明了墙体在加载过程发生了一定的滑移. GW2 是惟一水平加固方式的试件, 荷载相对较小时候在墙体底部水平灰缝处出现水平裂缝, 并以较快的速度向墙中发展. 因此, 其滑移比其他试件较严重, 滞回曲线形状也较特殊. 对于其他墙体而言, 虽滞回曲线形状近似均为梭形, 但可以明显看出对比墙 GW1 的滞回环数目较少, 同时后期位移变化较大而又不稳定, 刚度下降较快. 对于加固后的墙体, 其滞回环明显比未加固墙的要饱满, 且滞回环数目较多, 刚度下降较慢. 同时还可以看出, 对于采用混合加固的方式的 GW3, 滞回环明显的比其他还要饱满, 也就是说, 混合加固方式墙体的耗能性能比较好.

2.2 各个试件骨架曲线

把荷载-位移曲线的所有循环的峰点(荷载顶点)连接起来, 得到的包络线叫骨架曲线^[2]. 骨架曲线可以定性的衡量墙体的抗震性能, 大体反映墙体在水平反复荷载作用下的开裂荷载、极限荷载 P_{lim} 和延

性等主要特征. 总体上讲, 各个试件在荷载较小时候, 刚度看不出明显的差异(图 2). 这阶段刚度主要与墙体的砂浆强度、砖的强度, 以及竖向压力大小有关, 随着荷载的增加, 未加固墙体的变形相对发展较快, 刚度下降较明显. 当荷载达到约 200 kN 时, 对比墙骨架曲线出现非常明显的拐点, 荷载达到峰值, 荷载下降很突然, 极限位移很小, 延性很差. 试件 GW2 底部水平裂缝开展较早、发展较快、水平裂缝较长、下角部压坏较早, 墙体荷载达到峰值后, 荷载下降相对比其他加固试件较快, 极限位移较小. 试件 GW3 由于墙体底部斜向和水平重叠, 加固面积相对较大, 初始开裂荷载(230 kN)较大, 水平开裂裂缝位置较高, 极限荷载前刚度较大. 试件 GW5 相对于 GW3 墙底端部加固区域稍弱, 初始开裂荷载(180 kN)相对较小, 水平开裂裂缝位置比 GW3 低, 极限荷载前刚度相对较低. 但极限荷载后, 两试件刚度变化情况差别不大, 极限荷载和极限位移基本相同.

2.3 各个试件的刚度退化性能

在位移(Δ)不断增大的情况下, 刚度不断减少, 这就是刚度退化^[3]. 在反复荷载作用下可用割线刚度代替切线刚度^[4], 文[5]把割线刚度定义为每级往复荷载绝对值之和与其对应的墙片顶部处的位移绝对值之和的比, 亦称等效刚度(K). 各试件的刚度(等效刚度)退化曲线, 如图 3 所示. 由图 3 可以看出,

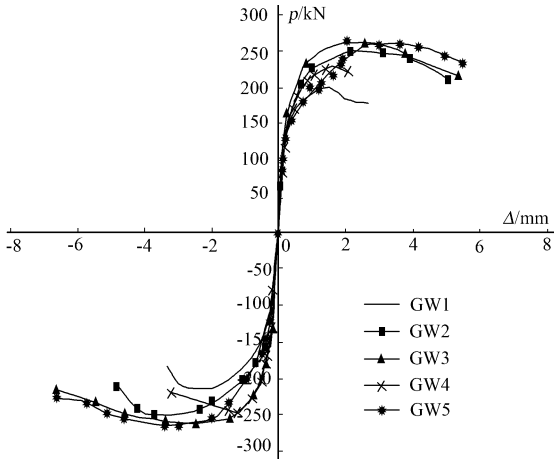


图 2 骨架曲线

Fig. 2 Skeleton curves between lateral load and deformation

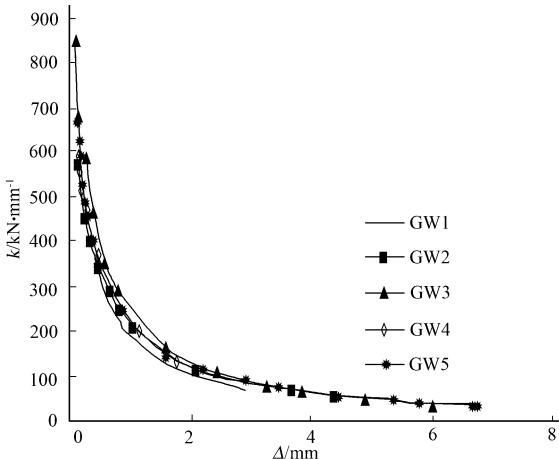


图 3 刚度退化曲线图

Fig. 3 Rigidity degradation curves

刚度退化曲线大致经历了 3 个阶段, 即初始加载期的刚度急剧下降阶段, 刚度下降趋势渐缓阶段, 以及阶段和刚度大体保持稳定阶段. 对于加固试件与未加固试件(GW1), Δ 较小($\Delta \leq 0.5$ mm)情况下, 两类试件的刚度变化情况基本一致; Δ 较大($\Delta \geq 0.5$ mm)情况下, 未加固墙体 GW1 的刚度随着位移的增加退化明显加快; 在 $\Delta \geq 2$ mm 阶段, 加固试件的刚度退化趋于缓和, 且各试件刚度差别不大.

2.4 各个试件的变形性能

结构或构件的塑性变形能力, 是结构或构件的延性性质的表现, 延性与强度同等重要, 而且延性更有意义, 它是结构抗震能力的重要指标. 评定结构抗震变形性能的方法一般有两类, 即延性系数法和相对位移延性法. 相对位移延性法又分开裂转角、极限转角和破坏转角 3 种情况, 本文采用破坏转角来评定墙体的变形性能, 各个试件的变形性能如表 2 所示.

表中, Δ 为单向位移, $\bar{\Delta}$ 为位移均值, $\bar{\theta}$ 为推拉转角均值($H = 750$ mm), k 为变形提高值.

2.5 各个试件的耗能性能

表 2 墙体的变形性能

Tab. 2 Deformation performance of specimens

编号	P_{lim}/kN	加载方式	破坏位移		破坏转角	
			Δ/mm	$\bar{\Delta}/\text{mm}$	$\bar{\theta}$	$k/(\%)$
GW1	215.6	推拉	3.22 2.28	2.75	$\frac{1}{273}$	0
GW2	251.8	推拉	4.49 4.64	4.57	$\frac{1}{164}$	66.0
GW3	264.2	推拉	5.02 5.16	5.09	$\frac{1}{147}$	85.1
GW5	265.0	推拉	5.48 5.50	5.49	$\frac{1}{136}$	99.6

试件的耗能能力,是指试件在低周反复荷载作用下吸收能量的大小.目前,对构件的耗能能力没有统一的评定标准,常用等效粘滞阻尼系数^[6]、功比指数^[7],以及能量耗散系数^[5]来表示.本文采用文[5]提出的能量耗散系数 E 来评定,极限荷载状态系数 E_p 和极限位移状态系数(E_Δ),如表 3 所示.从表 3 可以看出,极限位移状态时墙体的能量耗散系数比极限荷载状态时的都有不同程度的提高;极限荷载状态时,未加固墙体的 E 值较加固后墙体大,加固后墙体在极限位移状态下的耗能能力与未加固墙相比都有不同程度的改善.

3 结 论

(1) GFS 在墙体中的作用相当于桁架模型中的受拉杆,加固后墙体的抗震抗剪承载力得到了一定的提高. GFS 对受荷墙体起到了一定的约束作用,限制或减缓了墙体裂缝的发生和开展,墙体的抗震性能得到改善. (2) 采用 GFS 加固后,墙体的极限变形能力明显增强,对防止无筋砌体房屋倒塌有较大益处. (3) 加固后墙体刚度退化减缓,极限荷载后墙体的整体性增强,由于砖砌体的脆性破坏而导致整体结构的突然破坏的概率在加固后减小了.

参考文献:

[1] 李忠献. 工程结构试验理论与技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004: 226 232.
[2] 王天稳. 土木工程结构试验[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2003: 84 92.
[3] 朱伯龙. 结构抗震试验[M]. 北京: 地震出版社, 1989: 34 42.
[4] 王艳晗, 艾 军, 张春锋, 等. 低周反复荷载作用预应力混凝土砌块墙 试验研究[J]. 建筑结构, 2003, (4): 22 26.
[5] 中国建筑科学研究院. JGJ 101- 96 建筑抗震试验方法规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997: 7 15.
[6] 王 来, 王铁成, 陈 倩. 低周反复荷载下方钢管混凝土框架抗震性能的试验研究[J]. 地震工程与工程振动, 2003, 23(3): 115 117.
[7] 马永欣, 郑山锁. 结构试验[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 153 158.

Experimental Research on Seismic Performance of
Brick Masonry Walls Strengthened with
Glass Fiber Reinforced Polymer

CHAI Zhen-ling, WANG Quan-feng,
HUANG Yifui, YANG Yong-xin

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

Abstract: By carrying out the experiment of five pieces of brick masonry walls with pilaster under low reversed cyclic loading, including four pieces strengthened with GFS and one piece un strengthened, the seismic performance, such as the hysteretic behavior, rigidity degradation, deformation and energy dissipation, are studied systematically. The experimental results showed that strengthening modes have little influence on the rigidity degradation and deformation of the wall, but have obvious influence on the energy dissipation of the wall. The GFS bonding mode is put forward to strengthen walls, which increases the ultimate load, deformation and energy dissipation of the walls, improves the rigidity degradation remarkably.

Keywords: glass fiber reinforced polymer sheet (GFS); strengthening; brick masonry wall with pilaster; seismic performance

(责任编辑: 黄仲一)