

北方严寒地区村镇住宅两类结构体系抗震试验研究

郑 瑶¹, 王爱民²

(1. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710064; 2. 长春工程学院 土木工程学院, 吉林 长春 130012)

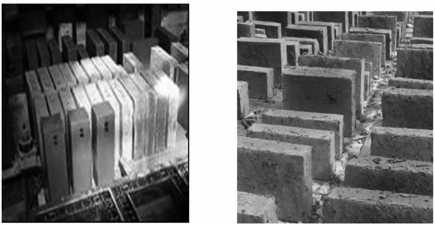
摘 要:以两类墙体结构—加气混凝土砌块墙体结构、秸秆泥坯砖墙体结构为研究对象,利用试验手段及理论分析方法,着重对两类复合墙体的抗震性能进行了研究.分析了墙体的破坏过程、破坏模式、承载力、延性、耗能等抗震性能,提出了复合墙体结构的设计原则及抗震构造要求,为复合墙体结构设计理论与实际工程应用提供了科学依据.

关键词:加气混凝土砌块墙体;秸秆泥坯砖墙体;抗震性能;破坏

中图分类号: TU352 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.02.009

0 引言

北方严寒地区建筑要求差异较大,村镇住宅结构抗震防灾能力及安全可靠性低下^[1].本研究旨在研发并推广新技术,使科技生产力在西部新农村建设中发挥重要作用.轻质加气混凝土是由含硅材料和钙质材料加水并加入适量附加材料,经一系列制作过程与切割后,再经养护制成的一种具有多孔结构的人造材料.秸秆泥坯砌块由取自村镇周围的天然土堆的生土加入适量的掺和料组成.能明显提高土坯的性能、生态、节能、就地取材.两者均能提高村镇住宅的抗震能力.图 1 为两种材料墙体实体图.



(a) 轻质加气混凝土砌块

(b) 秸秆泥坯砖

图 1 生态材料填充图

Fig. 1 The ecological material filling block

加气混凝土砌块的立方抗压强度和轴心抗压强度要优于秸秆泥坯砖,但是秸秆泥坯砖的容量大约为 18.6 kN/mm^3 是加气混凝土砌块容量的 3 倍.加气混凝土砌块具有很好的弹性模量,在屈服强度

和极限强度方面,两类墙体都具有很好的强度,试件直径在 4 m 时,屈服强度和极限强度能超过 700 N/mm^2 ,两类结构试件随着直径的增大,屈服强度和极限强度先增大后减小,结构具有很好的弹塑性.当接近破坏荷载时,两类墙体的脆性破坏特征明显,加气混凝土砌块的破坏荷载更高.另外,对于秸秆泥坯砖而言,墙体的高厚比对于它的承载力影响较大,它的刚度较小,墙体纵向弯曲的可能性大于加气混凝土砌块.

1 试验设备与试件介绍

1.1 加载装置及仪器

加载装置及仪器有:①位移测定装置;② DH3816 静态应变测试系统和 TDS-602 数据采集系统;③ MTS 结构试验系统采用 661.22D-01 型作动器^[2].低周反复荷载加载示意图如图 2 所示.

1.2 试件设计

本试验研究共制作了 2 榀现砌复合墙体试件模型缩尺比例取为 1/4.各类试件的外形尺寸均为 $1.4 \times 1.44 \times 0.1 \text{ m}$,墙厚 0.1 m.各类复合墙体模型的编号、尺寸及配筋分别见图 3, MLQT-1、MLQT-2 用作抗震性能试验.

2 试验方案

2.1 加载方案

竖向加载:按试件设计轴压比 0.78 计算竖向

收稿日期:2013-10-30;修订日期:2014-01-19

基金项目:吉林省科技厅资助项目(02532009)

通信作者:王爱民(1960-),女,吉林长春人,长春工程学院教授,从事结构抗震研究.

荷载值为 110 kN, 预载为 20 kN, 持续时间 4 min, 然后卸载, 接着正式加载 20、-40、-60、-80、-120 kN, 持续时间 3 min. 水平加载: 30 kN 以前采用力控制, 每级加载 5, 30 kN 以后水平荷载采用位移控制, 第一次位移为 30 mm, 每级加载 10 mm, 直到墙体破坏. 在水平位移为 30, 40 mm 时, 每级循环 1 次; 水平位移为 50 mm 时, 循环 2 次; 加载速率: 在水平位移为 40 mm 之前速率为 0.2 m/s; 当水平位移为 40~60 mm(第一次循环)时, 加载速率为 0.4 m/s.

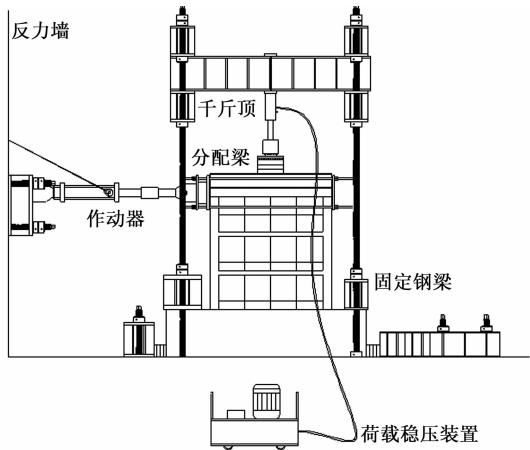


图 2 低周反复荷载试验装置

Fig. 2 Low reversed cyclic loading test apparatus

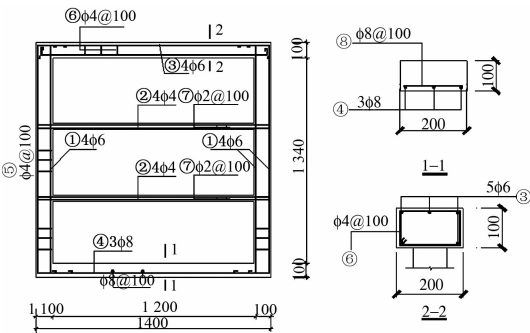


图 3 MLQT 系列试件尺寸及配筋图 MLQT-1、MLQT-2

Fig. 3 Series of specimen size and reinforcement figure

2.2 测点布置

通过钢筋的应变—荷载变化情况, 以考察边框柱、肋梁钢筋是否屈服的情况以及钢筋应变与整个构件破坏、刚度变化的关系. 试件平面内水平位移: 以了解整个结构的变形形态, 为研究结构刚度及延性提供数据^[3]. 试件钢筋应变测点、水平位移测点布置. 如图 4.

2.3 两类墙体材料物理性能

两类复合墙体的材料包括钢筋、混凝土、加气混凝土砌块以及秸秆泥坯砖, 其试验测试的材料

力学性能指标分别见表 1、表 2.

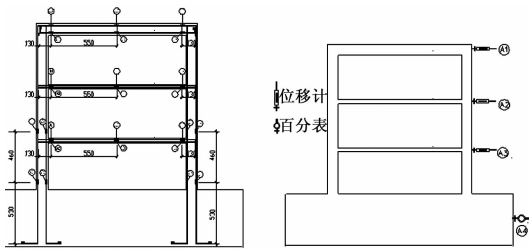


图 4 MLQT 系列试件抗震性能试验测点

Fig. 4 MLQT series specimen seismic performance test point arrangement

表 1 钢筋强度表

Tab. 1 Reinforced strength table			
试件编号	直径	屈服强度 /(N · mm ²)	极限强度 /(N · mm ²)
MLQT 系列	2	329	396
	4	705	731
	6	448	617
	8	308	451

表 2 砌块材料性能指标

Tab. 2 Block material performance indicators			
砌块种类	立方抗压强度 /(N · mm ²)	轴心抗压强度 /(N · mm ²)	容重/ (kN · mm ³)
稻草秸秆 泥坯砖	1.17	0.89	18.8
加气混凝土 砌块	3.50	2.48	6.0

3 复合墙体抗震性能试验及分析

3.1 试件破坏过程描述

试验表明, 试件在竖向及水平荷载作用下, 主要发生剪切型破坏. 弹塑性阶段: 随着水平荷载的继续增加, 砌块内的裂缝增多且延伸至肋梁, 但由肋梁、外框所形成的框格整体性较好. 图 5 为整体试验阶段破坏的现场图像.

其指形成的框架整体相对于填充砌体的强度、弹性模量较大, 从而可以有效地约束砌体中裂缝的发展^[4]. 此后进入位移控制的循环阶段, 加气混凝土砌块中对角斜裂缝逐渐明显并加宽, MLQT-1 加气混凝土砌体有持续的断裂声, 加气混凝土砌块表面表皮大块脱落, 但由于粘结牢固加之砌体未完全退出工作, 因而没有完全退化. 由肋梁和肋组成的纯框架, 但在肋梁上出现多处塑性铰区, 砌块出现斜向交叉裂缝, MLQT-2 在此阶段, 泥坯砌体也有小面积剥落, 砌体与肋柱之间裂缝开展宽度较大, 整个墙体裂缝数量多、宽度

小、规则性差.

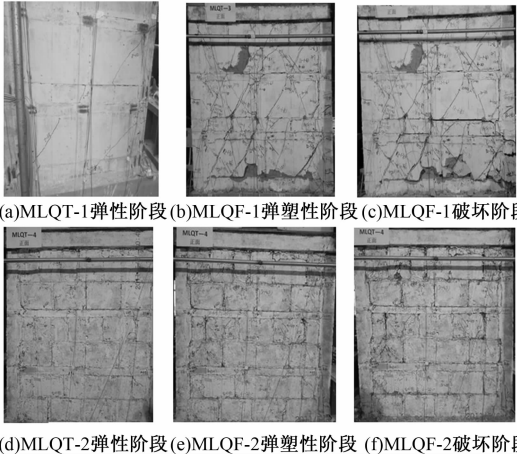


图 5 2 片墙体的破坏过程图像

Fig. 5 Pieces of wall failure process image

3.2 试件破坏过程描述

3.2.1 滞回曲线

对试件进行 50% 和 100% 的压剪试验. 各试件的力和位移滞回曲线如图 6、7. 模型结构隔振后的周期延长了一倍,可以大大减小结构的地震反应. 从图 8 中可以看出,地震反应数值计算较好的模拟了振动台试验,具有较好的吻合性,弹性阶段,试件整体性较好,滞回曲线基本为直线,刚度值基本不变; MLQT-2 反映出剪切和滑移的部分影响,滞回曲线向反 S 型发展,滞回环中部的捏缩现象越来越明显;

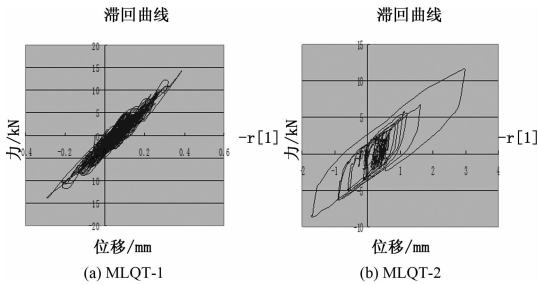


图 6 50 % 下力和位移滞回曲线

Fig. 6 50 % dint and displacement hysteresis curve

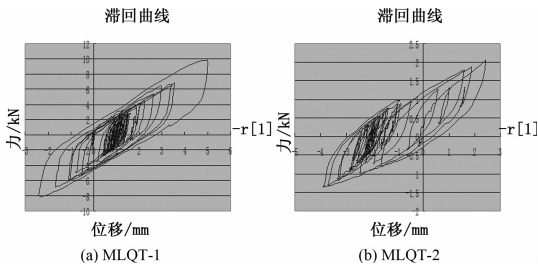


图 7 100 % 下力和位移滞回曲线

Fig. 7 100 % dint and displacement hysteresis curve

当达到屈服荷载时, MLQT - 1 位移增长加

快,滞回曲线依然呈现反 S 型. 反方向加荷初期刚度降低的原因则是滑移影响与裂缝尚未闭合的关系,在裂缝闭合前,仅有裂缝处钢筋及未裂的砌块、混凝土受力,刚度很小,一旦的裂缝在反方向加载过程中闭合并开始受压,变形速度减慢,刚度得到强化;继续一倍位移循环加载,滞回环面积趋于饱满. 试件在达到最大荷载后,墙体的承载力下降缓慢,位移增长较大,表现出良好的延性,如图 8. 到屈服荷载时, MLQT - 2 位移增长加快,滞回曲线依然呈现反 S 型. MLQT - 3 加载后期,滑移现象并不突出,卸载刚度的退化较快,滞回环中部的捏缩现象不明显,滞回曲线呈明显梭形.

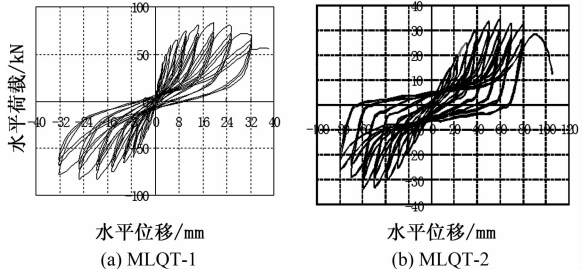


图 8 两试件滞回曲线

Fig. 8 2 Specimen hysteresis curve

3.2.2 骨架曲线

开裂荷载 V_k , 开裂位移 Δ_k ; 屈服荷载 V_y , 屈服位移 Δ_y ; 最大荷载 V_w , 对应位移 Δ_w ; 极限位移 Δ_u , 对应破坏荷载 V_u 如图 9 所示. 墙体的开裂点、屈服点、最大荷载点和极限位移点反应了骨架曲线的主要特征,也是恢复力模型的主要参数,但迄今为止还没有比较准确可靠的方法来计算这些参数^[5],本研究根据试验观察及得到的滞回曲线按照下述原则可近似确定出这些参数. 可以看出外框柱主要承担墙体的整体弯矩,同时,对墙体的承载能力、刚度以及抗震性能的改善都具有一定的作用.

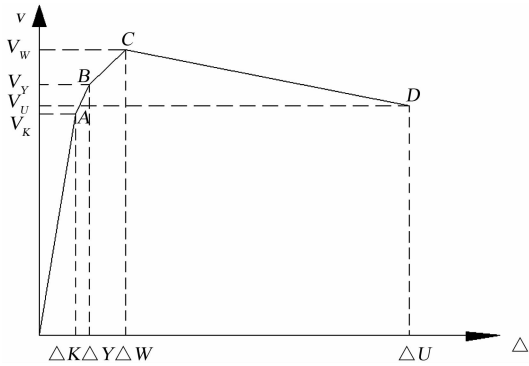


图 9 复合墙体骨架曲线模型

Fig. 9 Composite wall skeleton curve model

图 10 为两个试件的骨架曲线,由此曲线结合试验观察结果近似确定的两个试件的开裂、屈服、极限以及破坏各点的荷载及其位移的结果见表 3.

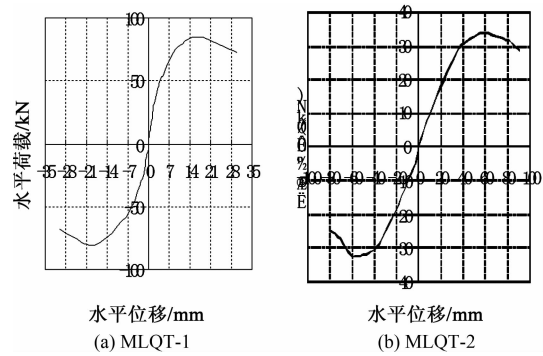


图 10 试件骨架曲线
Fig. 10 Skeleton curves

由图 10 试件骨架曲线可以看出,墙体的受力全过程均经历了弹性、弹塑性和破坏阶段. MLQT-1 的抗侧刚度明显高于 MLQT-2,但是在达到各自的最大荷载前后 MLQT-2 的骨架曲线比 MLQT-1 的较平缓,反映了 MLQT-2 剪切滑移变形较 MLQT-1 大.

3.2.3 动力理论分析

计算步骤可以简单总结如下:假设系统的振型 $D = [\hat{\phi}_1 \ \hat{\phi}_2 \ \cdots \ \hat{\phi}_s] \rightarrow$ 求解 $\bar{K} = D^T K D$ 和 $\bar{M} = D^T M D \rightarrow$ 求解 $(\bar{K} - \bar{\omega}^2 \bar{M}) a = 0$ 特征值 \rightarrow 求解出 $\bar{\omega}_i^2$, 令 $\omega_i^2 = \bar{\omega}_i^2 (i = 1, 2, \cdots, s)$ 求出系统的主频率 \rightarrow 代入 $X_i = D a_i$ 求出系统的主振型.

表 3 复合墙体抗震性能指标

Fig. 3 Main seismic performance index of the composite											
试件编号 轴压比		开裂		屈服		最大		极限 (试件破坏)			
		V_k/kN	Δ_k/mm	V_y/kN	Δ_y/mm	V_w/kN	Δ_w/mm	V_u/kN	Δ_u/mm	延性系数 μ	极限位移角 $\theta = \Delta$
MLQT-3	0.78	25.6	3.74	71.8	8.54	85.34	13.51	72.54	30	3.51	1/48
MLQT-4	0.78	14.92	15.91	31.3	42	33.15	60	28.5	90	2.5	1/16

两个试件阵型是基于刚度系数表示的两质点结构参数计算公式,两质点上部的质量 \bar{M} 与刚度矩阵 \bar{K} 为

$$\bar{M} = \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix}; \bar{K} = \begin{pmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

$$m_1 = \frac{F(a_1 g b_1 (\sqrt{m_2/m_1})^2 + (a_2 g b_2 (\sqrt{m_2/m_1}))^2)}{(2)}$$

则由两自由度的周期与原上部结构周期相等^[6]可建立下式

$$\begin{cases} (m_2 k_1 + (m_1 + m_2) k_2) = (w_1^2 + w_2^2) m_1 m_2 \\ k_1 k_2 = w_1^2 w_2^2 m_1 m_2 \end{cases}. \quad (3)$$

上部结构折算质量和折算刚度分别为

$$K_i^* = \varphi^T K \varphi_i = 165 \text{ kg};$$

$$M_i^* = \varphi_i^T M \varphi_i = 14 \text{ kN/mm};$$

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^m (a_i \frac{(\varphi_i T M I)^2}{\varphi_i T M \varphi_i})^2} g = 1\,996 \text{ kN}. \quad (4)$$

公式计算根据上部结构总地震基底剪切力和两自由度总地震基底剪切力相等的等效准则.

4 结论

(1)从破坏过程及特征看两类复合墙体的破

坏过程十分相似,墙体中边框柱、肋梁、(肋柱)与砌块具有较好的协同工作性能,表现出了较明显的三阶段受力特点,体现出墙体中砌块、肋梁、(肋柱)、边框柱依次发挥作用的破坏机制及复合墙体的多道抗震防线.

(2)加气混凝土砌块墙体结构的耗能明显大于秸秆泥坯砖墙体结构,主要因为秸秆泥坯砖在墙体中产生的较大水平滑移.从此点上看,填充秸秆泥坯砖的现砌加强肋复合墙体在抗震中具有优越性.同时,在极限位移角达到 1/16 时仍具有抵抗竖向荷载的能力,反映出此类墙体较强的抗倒塌能力.

(3)在水平与竖向荷载的共同作用下,始终处于弯、剪、压复合受力状态,加之试件在制作上的复杂性和材料的多样性,墙体的破坏形态也是复杂、多样的.本次试验现象表明试件的破坏模式均为剪切型破坏.

(4)从试验中发现,砌块、肋梁的大量开裂都未能引起承载力的降低,而肋梁钢筋退出工作使得墙体的抗剪承载力开始迅速降低,说明肋梁钢筋对墙体的抗剪承载力贡献较大.