

文章编号:1673-9469(2011)03-0013-04

约束蒸压粉煤灰砖砌体结构抗震性能研究

张号进,熊立红,冯付

(天津城市建设学院 天津市软土特性与工程环境重点实验室,天津 300384)

摘要:研究了蒸压粉煤灰砖砌体结构抗震能力,采用非线性时程分析方法,分别对两栋典型的蒸压粉煤灰砖砌体结构进行了非线性地震反应分析,研究了在抗震设防“三水准”情况下结构的抗震能力。结果表明:在抗震设防烈度为7度和8度地区分别建造7层和6层约束蒸压粉煤灰砖砌体结构房屋,其抗震能力可以提高一度。

关键词:约束蒸压粉煤灰砖砌体结构;恢复力模型;非线性时程分析

中图分类号: TU352

文献标识码: A

Seismic performance of the bound autoclaved fly ash bricks masonry structure

ZHANG Hao-jin, XIONG Li-hong, FENG Fu

(Tianjin Key Laboratory of Soft Soil Characteristics and Engineering Environment, Tianjin Urban Construction Institute, Tianjin 300384, China)

Abstract: This paper studies the seismic capability of the autoclaved fly ash bricks masonry structure. By using a nonlinear time - history analysis method, a great number of the nonlinear seismic response analyses of two typical masonry structures with the autoclaved fly ash bricks are performed respectively. It studies the seismic capability on the seismic fortification "three level" cases. The analysis results show that a 7 - or a 6 - storey building of the autoclaved fly ash bricks are building in seismic fortification intensity of 7 degrees and 8 degrees regions, it can meet three level requirements of aseismatic fortify; The seismic capability of this kind of building can improve once.

Key words: constraint autoclaved fly ash bricks masonry structure; restoring force model; nonlinear time - history analysis

近年来,随着墙体材料改革的不断深入,积极开发和节能、节地、利废的新型墙体材料变得至关重要。蒸压粉煤灰砖是以粉煤灰、石灰或水泥为主要原料,掺加适量石膏和集料经高压蒸汽养护制成的粉煤灰砖。其具有节约土地、保护环境、节能利废等优点成为中国墙体材料的主导产品之一。蒸压粉煤灰砖作为一种新型墙体材料,要想其在地震区推广应用,对蒸压粉煤灰砖砌体结构抗震性能的研究尤为重要。本文针对两栋典型约束蒸压粉煤灰砖砌体结构进行了非线性地震反应分析,研究其抗震性能。

1 墙体强度和变形研究

在砌体结构中,承重墙体构件抗剪承载力是评定其抗震能力的重要指标。目前我国度量无筋砌体抗剪强度理论主要有两种:主拉应力破坏理论和库仑破坏理论。大量文献都以这两种强度理论为基础,得出了各种砌块墙体抗剪承载力公式。

1.1 抗剪承载力计算公式

文献[1]中通过对31片蒸压粉煤灰墙体试验

数据进行数据拟合,建立了墙体抗剪强度平均值计算式公式

$$f_{wm} = 0.94f_{w,m} + 0.50\sigma_0 \quad (1)$$

式中 σ_0 —作用在墙体上的正应力; $f_{w,m}$ —非抗震设计的砌体抗剪强度平均值。可按式(2)^[2]计算。

$$f_{w,m} = k_5 \sqrt{f_2} \quad (2)$$

式中 f_2 —为砂浆抗压强度平均值; k_5 —对于蒸压粉煤灰砖 $k_5 = 0.09$ 。

那么,蒸压粉煤灰砖墙体的平均极限抗剪承载力为

$$V_{wm} = f_{wm}A = (0.94f_{w,m} + 0.50\sigma_0)A \quad (3)$$

式中 V_{wm} —蒸压粉煤灰墙体平均极限抗剪承载力; A —墙体横截面面积。

对于设置构造柱的墙体,文献[3]给出了构造柱平均抗剪承载力 V_{cm} 为

$$V_{cm} = 0.07f_{cm}A_c + 0.15f_{ym}A_s + 0.8f'_{ym}A_s \frac{h'}{s} \quad (4)$$

式中 f_{cm} —构造柱混凝土构件抗压强度平均值; A_c —构造柱混凝土横截面总面积; f_{ym} —构造柱纵向钢筋屈服强度平均值; A_s —构造柱纵向钢筋横截面总面积; f'_{ym} —构造柱箍筋屈服强度平均值; A_s —构造柱箍筋横截面总面积; s —箍筋间距;

h' —箍筋沿抗剪方向的长度。

由式(3)和式(4)得出约束蒸压粉煤灰砖墙体的平均极限抗剪承载力

$$V_{cm} = (0.94f_{w,m} + 0.50\sigma_0)A + (0.07f_{cm}A_c + 0.15f_{ym}A_s + 0.8f'_{ym}A_s \frac{h'}{s})\eta \quad (5)$$

式中 η —构造柱工作系数, η 按文献[3]取值。

利用式(5)对另外 20 片蒸压粉煤灰砖墙体的截面抗震受剪承载力进行了计算,并对计算结果和试验结果^[4-6]进行了比较,如表 1 所示。

由表 1 数据可以得出,试验值与计算值之比平均值 $M = 1.12$,变异系数 $C_v = 0.17$ 。可见式(5)具有较满意的精度。

1.2 恢复力模型建立

参考大量试验数据^[4-10],从蒸压粉煤灰砖墙体在水平低周反复荷载试验下滞回曲线可以看出,墙体出现了明显的刚度退化。本文将层间恢复力计算模型取为了四折线—退化刚度模型(图 1)。其中 OA、AB、BC、CD 和 DE 区段分别代表弹性状态、轻微破坏状态、中等破坏状态、严重破坏状态和倒塌状态。其中极限强度 V_u 由式(5)计算,各控制点的参数计算如表 2 所示。

表 1 墙片抗震抗剪承载力比较

Tab.1 The comparison of the wall of resistance cut

构件 编号	试验值 /kN	计算值 /kN	试验值/计算值	构件 编号	试验值 /kN	计算值 /kN	试验值/计算值
1	391.00	304.39	1.28	11	460.80	371.49	1.24
2	275.00	256.39	1.07	14	485.60	355.73	1.37
3	220.00	208.39	1.06	15	408.20	300.97	1.36
4	447.00	283.49	1.58	16	419.00	304.39	1.38
5	344.41	393.30	0.88	17*	456.00	422.94	1.08
6	312.45	326.10	0.96	18*	350.00	322.14	1.09
7	227.56	292.50	0.78	19*	320.00	322.14	0.99
8	399.30	361.39	1.10	20*	454.00	431.03	1.05
9	352.40	387.57	0.91	21*	481.00	407.72	1.18
10	263.50	263.30	1.00	22*	309.00	323.39	0.96

注: * 为设构造柱墙片。

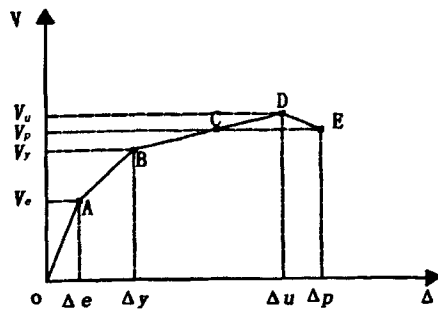


图1 结构恢复力计算模型

Fig.1 The computation models to the recuperative power of structure

表 2 恢复力模型相关参数计算

Tab.2 Related parameters to calculate of recovery model

直线段	约束蒸压粉煤灰砖砌体结构	
OA	$V_e = 0.5V_u$	$\Delta_e = H/1600$
AB	$V_y = 0.8V_u$	$\Delta_y = H/700$
BD	V_u	$\Delta_u = H/350$
DE	$V_p = 0.9V_u$	$\Delta_p = H/200$

注: V_e, V_y, V_u, V_p —弹性极限荷载、层间开裂荷载、塑性极限荷载和倒塌破坏荷载; $\Delta_e, \Delta_y, \Delta_u, \Delta_p$ —弹性极限位移、层间开裂位移、塑性极限位移和倒塌破坏位移。

2 算例分析

2.1 工程概况

以两栋典型蒸压粉煤灰砖砌体结构为例, 结构一为 7 层房屋, 结构二为 6 层房屋。抗震设防烈度分别为: 结构一 7 度、结构二 8 度, 场地类别都为 II 类, 设计地震分组为第一组; 楼层层高均为 2.8 m, 采用 MU15 蒸压粉煤灰砖, 砂浆强度等级为 M15, 构造柱和圈梁采用 C20 混凝土; 楼板和屋面均采用现浇钢筋混凝土板, 屋盖板厚 120 mm, 楼盖 100 mm, 各层的楼板处均设置现浇钢筋混凝土圈梁, 宽度 240 mm, 配筋 4 ϕ 12, 箍筋 ϕ 6, 间距 200 mm; 根据文献[2], 构造柱分别按 7 度和 8 度设防要求布置, 构造柱截面尺寸为 240 mm \times 240 mm, 纵向钢筋为 4 ϕ 12, 箍筋 ϕ 6, 箍筋间距为 200 mm。

结构一底层层间极限抗震剪切承载力为 17 125.36 kN, 其中构造柱极限抗震剪切承载力为 1 376.52 kN, 占层间极限抗震剪切承载力的 8.04%; 结构二底层层间极限抗震剪切承载力为 16 091.79 kN, 其中构造柱极限抗震剪切承载力为 1 626.55 kN, 占层间极限抗震剪切承载力的

10.11%。

2.2 地震记录的选取和调整

根据该建筑物所在场地土类型和设计地震分组, 按建筑抗震设计规范 (GB50011 - 2001), 选择两条 Northridge - 01 波地震记录 (地震动水平分量分别为 NORTHR/JEN022, NORTHR/JEN292; 卓越周期分别为 0.36 s, 0.34 s) 和 EL - Centro 波地震记录 (卓越周期为 0.41 s), 共三条反映本算例 II 类场地的地震记录。对于结构一, 将输入的 3 条地震加速度峰值分别调整为 7 度和 8 度区多遇地震、设防烈度、罕遇地震的幅值; 对于结构二, 将输入的 3 条地震加速度峰值分别调整为 8 度和 9 度区多遇地震、设防烈度、罕遇地震的幅值, 分别对两栋蒸压粉煤灰砖砌体结构进行地震反应分析。

2.3 计算结果及分析

最大层间位移反应: 图 2 为输入不同地震加速度峰值条件下, 两栋蒸压粉煤灰砖砌体结构的各层最大层间位移平均值沿高度分布。由图 2 可知, 对于结构一在输入地震加速度峰值小于 310 gal 时, 层间位移随着层高的增加而减小, 结构的层间位移均小于开裂位移 1.75 mm, 表明此时结构楼层处于弹性状态。在输入地震加速度峰值等于 310 gal 时, 一层和二层层间位移大于开裂位移 1.75 mm, 而且第二层层间位移沿高度分布出现转折点, 表明此时该结构楼层处于轻微破坏状态, 结构薄弱层出现在第二层。在输入地震加速度峰值等于 400 gal 时 (相当于设防烈度为 8 度罕遇地震), 一到四层层间位移大于开裂位移 1.75 mm, 而且首层层间位移为 2.62 mm, 表明此时该结构楼层处于轻微破坏状态, 层间位移变化逐渐加剧。在输入地震加速度峰值等于 510 gal 时 (相当于设防烈度为 8 度罕遇地震), 一到四层层间位移大于开裂位移 1.75 mm, 而且首层层间位移为 3.12 mm, 接近屈服位移 4.00 mm, 表明此时该结构楼层处于中等破坏状态。

对于结构二在输入地震加速度峰值小于 400 gal 时, 位移随着层高的增加而减小, 结构的层间位移均小于开裂位移 1.75 mm, 表明此时结构体系处于弹性状态。在输入地震加速度峰值等于 400 gal 时, 一到二层层间位移大于开裂位移 1.75 mm, 而且第二层层间位移沿高度分布出现转折点, 表明此时该结构楼层处于轻微破坏状态, 结构的薄弱

层出现在第二层。在输入地震加速度峰值等于 510 gal 时,一到三层层间位移大于开裂位移 1.75 mm,而且首层层间位移为 3.05 mm,接近屈服位移 4.00 mm,表明此时该结构楼层处于中等破坏状态。在输入地震加速度峰值等于 620 gal 时(相当于设防烈度为 9 度罕遇地震),一到四层层间位移大于开裂位移 1.75 mm,而且首层层间位移为 3.89 mm,接近屈服位移 4.00 mm,第二层层间位移为 4.01 mm,大于屈服位移 4.00 mm,表明此时该结构楼层处于中等破坏状态,结构的薄弱层出现在第二层。从结构一和结构二的最大层间位移反应来看,该种约束蒸压粉煤灰砖砌体结构不仅满足该地区的抗震设防要求,而且其抗震能力可以提高一度。

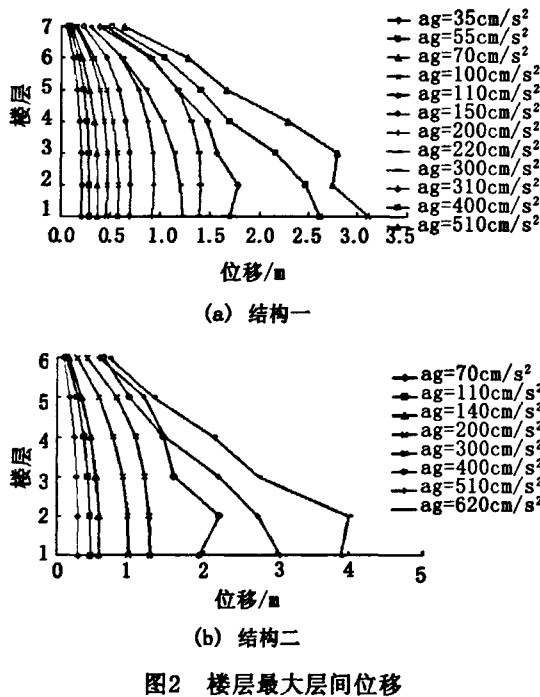


Fig.2 The maximum displacement of the floor

最大加速度反应:图 3 为输入不同地震加速度峰值条件下,两栋蒸压粉煤灰砖砌体结构的各楼层加速度反应平均值沿高度分布图。由图 3 可知,结构一和结构二在不同输入地震加速度峰值条件下,结构的最大楼层加速度沿高度基本为倒三角分布,底层加速度最小,顶层对加速度的反应较为敏感。结构一在输入地震加速度峰值为 510 gal 时,即在 8 度罕遇地震下,第四层加速度反应发生突变。结构二在输入地震加速度峰值为 620 gal 时,即在 9 度罕遇地震下,第四层的加速度反应发生突变。表明这两栋结构在罕遇地震下,结构第四层出现破坏,使得结构的第四层刚度降低,阻尼

增大,最大加速度反应变大。

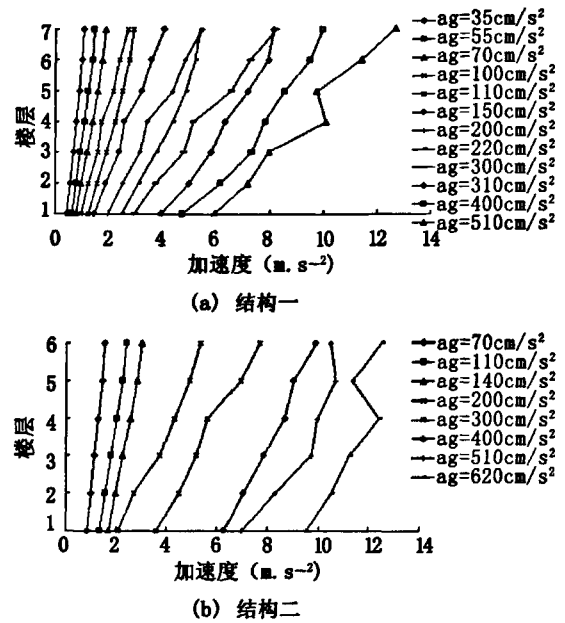


图3 楼层最大加速度

Fig.3 The maximum acceleration of the floor

最大层间剪力反应:图 4 为输入不同地震加速度峰值条件下,两栋蒸压粉煤灰砖砌体结构的最大层间剪力平均值沿高度分布图。由图 4 可知,结构一和结构二在不同输入地震加速度峰值条件下,最大层间剪力随着楼层的增加逐渐降低,最大层间剪力出现在首层。

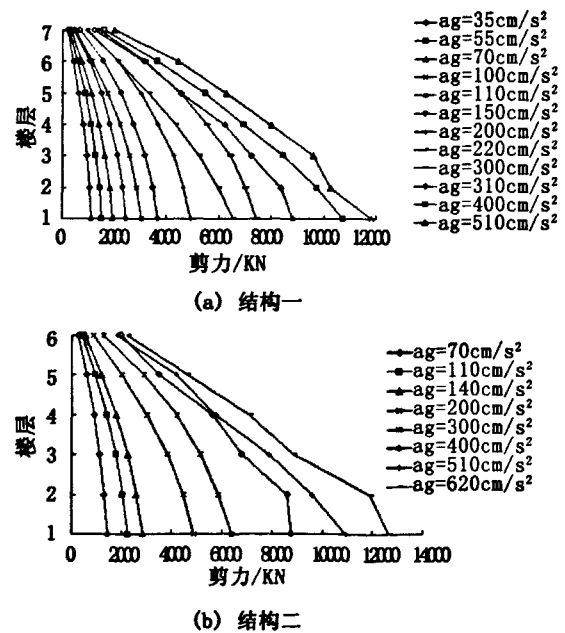


图4 楼层最大层间剪力

Fig.4 The maximum cut force of the floor

$$R = \begin{pmatrix} 0.775 & 0.25 & 0.225 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.93 & 0.85 & 0.07 & 0.035 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

第二层评价矩阵和评判模型为

$$B = A \cdot R = (0.512 \ 0.534 \ 0.488 \ 0.039 \ 0.019)$$

归一化后得(0.322, 0.335, 0.307, 0.024, 0.012),根据最大隶属度原则,取B中的最大值0.335,则对应为二级警戒状态,所以基坑开挖对周围环境影响的综合风险等级评定为二级关注状态。说明对于此次漏水事件,施工单位土方回填及时,双液注浆参数控制合理,取得良好效果。

4 结语

运用模糊综合评价法把监测数据进行量化分析,能够较真实地反应深基坑的风险状况,减少了主观判断带来的差异,使评价结果更加精确,为工程的顺利开展提供可靠的帮助。

本文评价方法操作性强,具有一定的实用价值,可为基坑设计施工部门进行参考。目前天津地区对基坑开挖对周围环境安全评价研究较少,相关数据指标参考上海地区而建立,对于进一步完善评价体系的问题今后还有较大的研究空间。

参考文献:

- [1] 孙志斌. 深基坑工程对周围环境的影响[J]. 岩土工程界, 2006, 9(5): 24-26.
- [2] 何锡兴, 周红波, 姚浩. 上海某深基坑工程风险识别与模糊评估[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增1): 1912-1915.
- [3] 杜纲. 管理数学基础[M]. 天津: 天津大学出版社, 2002.
- [4] 刘万兰, 鞠丽艳, 高文杰. 软土地区基坑施工风险评估准则与方法研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增2): 590-593.
- [5] 黄宏伟. 隧道及地下工程建设中的风险管理研究进展[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(1): 13-20.
- [6] 钱七虎, 戎晓力. 中国地下工程安全风险管理的现状、问题及相关建议[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(4): 649-655.
- [7] 鲁志鹏. 考虑地墙渗漏影响的地铁基坑安全形状研究[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 2(6): 400-405.
- [8] 张瑾. 基于实测数据的深基坑施工安全评估研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [9] GB50497-2009, 建筑基坑工程监测技术规范[S].
- [10] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [11] 宰金珉. 岩土工程测试与监测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

(责任编辑 刘存英)

(上接第16页)

3 结论

(1)通过理论研究和试验对比,式(5)可以作为蒸压粉煤灰砖砌体结构极限抗震剪切承载力计算公式,具有较好的精确度。

(2)约束砌体结构具有良好的抗震性能,其抗震能力可提高一度。

(3)构造柱不仅是房屋抗倒塌的重要措施,还是承受地震作用的受力构件,分别承担着8.04%和10.11%的抗剪承载力,对于每开间均设构造柱的房屋,考虑构造柱的抗剪作用更为合理。

参考文献:

- [1] 韩春. 蒸压粉煤灰砖柱与墙体抗震性能的试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2009.
- [2] GB50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].
- [3] 熊立红. 多层混凝土砌块结构抗震研究[D]. 哈尔

滨: 中国地震局工程力学研究所, 2004.

- [4] 赵成文, 尚义明, 周康, 等. 蒸压粉煤灰砖墙片抗震性能试验[J]. 沈阳建筑大学学报, 2010, 26(1): 57-61.
- [5] 方亮, 梁建国. 蒸压粉煤灰砖墙片抗震性能研究[J]. 湖南农业大学学报, 2008, 34(2): 240-244.
- [6] 杨元秀. 预应力蒸压粉煤灰实心砖墙抗震性能试验研究[D]. 重庆大学, 2008.
- [7] 孙云来. 蒸压粉煤灰实心砖墙片抗震性能试验研究[D]. 重庆大学, 2008.
- [8] 赵成文, 刘德清, 高连玉. 反复荷载下蒸压粉煤灰砖砌体的抗震性能[J]. 沈阳建筑工程学院学报, 1999, 15(1): 14-17.
- [9] 刘利先, 吕龙, 刘铮. 蒸压粉煤灰砖砌体抗剪性能试验研究[J]. 建材发展导向, 2004(6): 61-62.
- [10] 刘立新, 田高燕, 蔡秀兰. 表面带凸凹槽的蒸压粉煤灰砖砌体抗剪性能的试验研究[J]. 新型建筑材料, 2009(1): 10-12.

(责任编辑 刘存英)