

新疆喀什地区新型石木结构房屋的模型抗震试验

张小平, 陈平, 赵冬, 周铁钢

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 对新疆喀什地区出现的新型石木结构房屋进行了 1/4 比例模型的地震反应试验的设计。概述了模型振动台试验方法, 了解了此类结构的破坏形态, 并对试验结果进行了初步分析, 同时对结构进行了初步抗震性能评价。结果表明结构能够满足小震不坏、中震可修、大震不倒的抗震设防要求。

关键词: 新疆喀什地区; 新型石木结构; 振动台试验; 抗震性能; 破坏形式

中图分类号: TU317⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2008)01-0042-04

Shaking Table Test for the Model of A New Type Stone Timber Structure House in Kashi Area, Xinjiang

ZHANG Xiao-ping, CHEN Ping, ZHAO Dong, ZHOU Tie-gang

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The earthquake response test on shaking table for the 1/4 proportion model of a new type stone timber structure house which appeared in Kashi area of Xinjiang is designed. The testing method and the model making are introduced. Through the test the destruction shape of this kind of structure is found. The test result is analyzed and the earthquake resistance behavior of the house is preliminarily evaluated. The result shows that the structure is contented with the earthquake resistance requirement.

Key words: Kashi area of Xinjiang; New stone timber structure; Shaking table test; Earthquake-resistance behaviors; Destroy form

0 引言

新疆是我国的地震多发区, 83.9% 的县(市)处于 7 度抗震设防区。近 10 年来全区共发生破坏性地震 34 次; 2002 年至 2005 年 4 年间全区因灾倒塌民房达 47.57 万间。2004 年的房屋普查鉴定表明, 仅农村就有 170 多万户不符合抗震要求。2003 年自治区党委、人民政府提出了将被动防灾变为积极主动预防的战略, 决定在全疆范围内开展抗震安居工程建设, 用 5 年时间基本解决好城乡居民的房屋抗震问题。2004 年 2 月 24 日全区抗震安居工程正式启动。

新型石木结构房屋利用南疆地区的河流高漫滩和低阶地上的砂石料作为混凝土的主要材料。这些

砂石料天然级配较好, 含土量极少, 是较好的建材, 与水泥搅拌一起作为结构墙体。同时在墙体四角、内外墙交接处沿墙高 500 mm 处放置两根钢筋, 以提高其刚度。屋顶是由木檩条固定在墙体上, 而后在上面钉三合板, 最后用草泥抹面。

鉴于这种新型石木结构房屋是一种全新的建筑结构形式, 迄今为止还没有可参考的理论分析及试验研究。为此我们制做了原型 1/4 的实体模型进行振动台试验, 以了解新型房屋结构的震害特点, 研究模型在不同地震烈度下的破坏程度和形态, 为结构的优化提供依据, 同时对结构进行可靠性评价。

1 振动台试验

收稿日期: 2007-09-11

作者简介: 张小平 (1981-), 男, 陕西旬阳人, 硕士研究生, 主要从事混凝土结构抗震及加固研究。

1.1 模型设计及制作

由于振动台的尺寸及其承载力的限制,模型根据原型结构进行 1/4 缩尺。模型为两开间,开间轴线尺寸分别为 0.825 m 和 0.9 m,进深 1.275 m,房屋净高 0.8 m,单层结构,内外墙厚均为 62.5 mm。墙体材料采用 C15 混凝土,用铁丝模拟钢筋。在房屋的四个角部放置四根 $\Phi 6$ 钢筋,锚固在基础中;同时在墙体四角、内外墙交接处沿墙高 125 mm 处放置两根 $\Phi 4$ 铁丝;圈梁尺寸为 62.5 mm $\times$ 55 mm,其截面四角放置 4 根 $\Phi 4$ 铁丝。屋面采用木檩条,上搁 5 mm 厚木望板,最后铺上 35 mm 厚的草泥。模型平面图如图 1 所示。

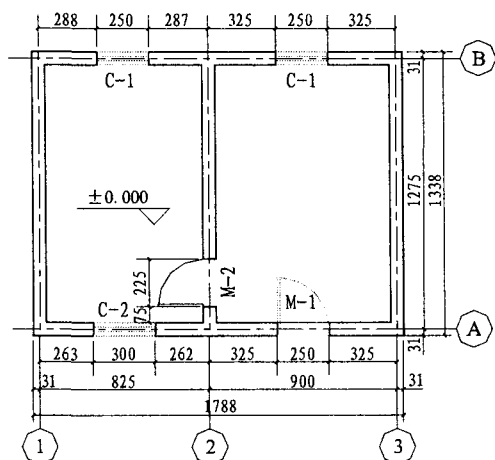


图 1 模型平面图

Fig. 1 Plan of the model.

根据质量相似条件需在模型上均匀地附加质量,但因受到振动台承载力条件的限制,不能完全满足质量相似比,因此本试验配重只加到 1.01 t。由于本试验模型屋面为木屋面草泥封顶,结构没有刚度,为此我们设计一矩形槽,内置配重质量,以此来将配重施加于结构上。矩形槽的净尺寸需与屋面的外部尺寸相吻合,以便使其能完全固定在墙体上,不致使其在振动过程中发生平面失稳而影响试验结果。模型外观图如图 2 所示。

1.2 相似关系

根据振动台限制取模型缩尺比为 1:4。由于新型石木结构首次进行实验研究,无成熟理论参考。根据相似关系所得动力主要相似条件如表 1 所示。

表 1 主要相似关系表

指标	长度 l	质量 m	质量 密度 ρ	弹性 模量 E	弹性 模量 E	弹性 模量 E	弹性 模量 E	弹性 模量 E	弹性 模量 E	弹性 模量 E
相似比	1/4	1/64	1/4	1	1/4	1/4	4	2	1/4	1/4

1.3 试验仪器及传感器布置

振动台采用日本宫嶋研制的单向振动台,台面

尺寸为 2 m $\times$ 2.2 m,承载能力 4 t,台面最大加速度 $\pm 27.7 \text{ m/s}^2$,台面最大位移 $\pm 10 \text{ cm}$ 。加速度传感器使用 PCB 型系列 3801GFB3G/30AY,位移传感器为实验室配有的 891 型。

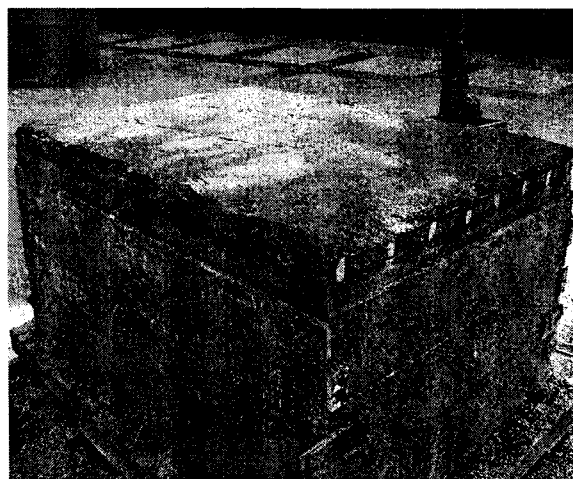


图 2 模型外观图

Fig. 2 Appearance of the model.

加速度传感器及位移传感器位置:在台面布置一个加速度传感器,以对比输入加速度与台面加速度差值;基座放置一个,房屋外墙正立面沿高度方向分别布置两个加速度传感器,以测定模型加速度反应;位移传感器在房屋内部两开间的基座上分别布置一个,屋面对应位置两个。

本次振动台试验是在西安建筑科技大学结构实验室单向液压伺服振动台上进行。拾振器固定于模型及楼层上,以采集楼层的加速度及水平位移反应。电阻应变片分别贴在:墙体角部的竖向铁丝的上中下三部位和圈梁的纵向钢筋上,用来测量钢筋应变,以了解角部构件在结构振动时的受力情况;混凝土墙体表面沿横竖斜三方向,以测量混凝土的应变。另外还需对钢筋及混凝土的应变做补偿,以消除温度的影响。

1.4 模型试验方法

为了研究模型受相同峰值的不同地震加速度作用时的地震反应情况,本次模拟试验采用了三种波:①EL-CENTRO 波,持时 53.73 s,最大加速度在 SN 向是 341.7 cm/s^2 ,EW 向是 210.1 cm/s^2 ,竖向是 206.3 cm/s^2 ;场地土属于 II~III,卓越周期较短;②SAN FERNANDO 波,波峰值 207 gal,持时 79.48 s;③人工波,采用比例法构造,波峰值 281.9 gal,持时 41.5 s。

在模型开裂后,仅输入 EL-CENTRO 波进行试验,逐级增加输入加速度峰值,直至模型破坏。

为了解不同的试验工况下模型的动力特性及频率的衰减情况,将在试验前和各级地震波激振后对模型进行了多点敲击试验。地震波由计算机远程输入控制,拾振器采集的振动信号及钢筋应变信号经891放大器后由DASP系统自动记录和处理。

2 模型振动台试验结果及分析

2.1 试验结果

括号内为天然状态下的地震加速度峰值

(1) 裂缝出现前:当地震加速度峰值达到 0.22 g (1.1 m/s^2) 时,模型振动比较明显,墙体无任何裂缝出现,结构处于弹性阶段,结构满足8度小震设防要求。

(2) 裂缝出现及展开阶段:地震加速度峰值达到 0.3 g (1.5 m/s^2) 时,墙体的振动特别明显,墙体屋面四周角部泥皮开始开裂并脱落,南面和北面的屋面部分与圈梁交接处出现水平裂缝,部分混凝土脱落;当地震加速度峰值达到 0.4 g (2.0 m/s^2) 时,模型振动剧烈,墙体四周圈梁部位泥皮脱落,且四周屋面部分与圈梁交接处出现水平裂缝。

(3) 破坏阶段:地震加速度峰值达到 0.8 g (4.0 m/s^2) 时,配重开始左右摇晃,房屋顶面泥皮大量脱落,屋面与圈梁连接处裂缝进一步展开,同时模型整体上部墙体与基础连接处出现水平裂缝,墙体门窗洞口处出现微裂缝;当加速度峰值加至 1.24 g (6.2 m/s^2),破坏形式无多大变化,房屋反而有减震效果,试验停止。

模型结构在进行完7度、8度、8.5度、9.5度地震试验之后,再对结构使用锤击试验进行动力特性测试,根据试验采集到的数据,分析得知模型结构的自振频率变为 18.1278 Hz 。

2.2 试验结果分析

由于SAN FERNANDO波及反应Ⅲ类场地的人工波在同等加速度峰值作用下对结构的地震反应较小,因而结构分析中以EL-CENTRO波激励下结构的地震反应来作以分析。

以上试验观察说明模型结构在经历了地震作用之后,房屋圈梁与屋面部分连接处首先出现泥皮掉落及裂缝,之后是门窗洞口处出现细微裂缝,最终模型整体与基础脱离。由于墙体的裂缝开展不大,所测试的结构自振频率下降很小,结构刚度退化程度很小。

加速度值为 0.8 g 时模型的加速度和位移反应见图3和图4。

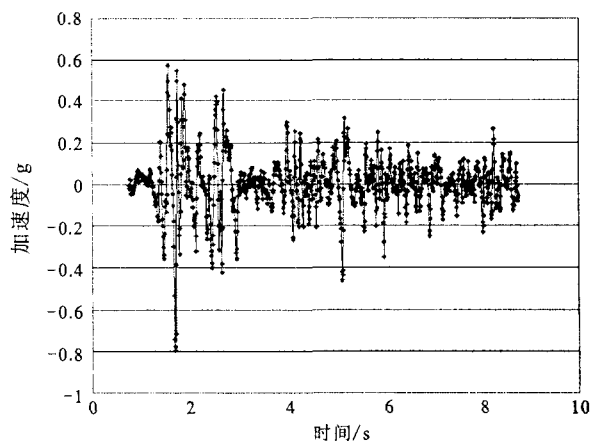


图3 模型的加速度反应(EL-CENTRO波)

Fig. 3 The acceleration response of the model.

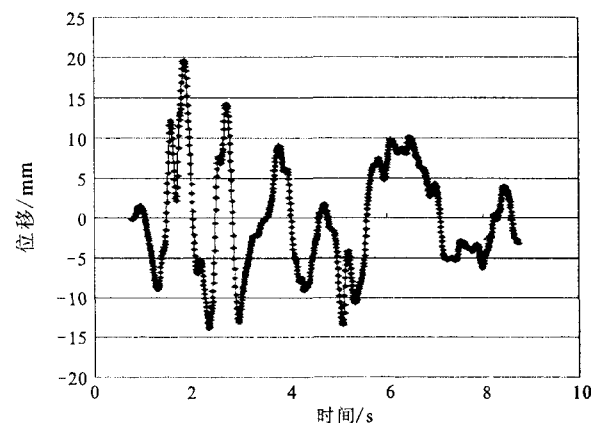


图4 模型的位移反应(EL-CENTRO波)

Fig. 4 The displacement response of the model.

在进行试验前结构的固有频率为 18.7529 Hz ,根据模型的地震反应记录可以得到其频谱特性如表2所示。

表2 试验模型的各阶频率

输入峰值/g	0.075	0.2	0.55
频率/Hz	18.752 9	18.252 9	18.127 8

从表2可知,在经过各级地震波之后,模型结构的整体刚度变化比较小,墙体均没有大的裂缝破坏,模型的整体稳定性比较好。

3 结论

(1) 模型结构地震反应测试结果及破坏特征表明,新疆喀什地区新型结构形式建造的单层小开间住宅房屋整体性好,高于基本烈度为8度(0.2 g)地区的抗震设防要求。

(2) 模型动力特性测试结果表明,结构自振频率较低,自振周期较长,阻尼较大,说明该试验模型刚度较小,整体结构较柔,耗能效果显著,对抗震有利。

(3) 台面输入加速度峰值相当于地震烈度 9.5 度时,模型房屋底部与基座产生裂缝,基础底板有局部断裂现象,有局部滑移,墙体裂缝不层增加,主体结构基本完好,未有倒塌现象。

(4) 新型石木结构的墙体材料主要是河流高漫滩和低阶地上的砂石料,这些砂石料天然级配较好,含土量极少,硬度高,是较好的建材。

由于此次试验的准备尚没有考虑周到,在试验过程中对在模型顶部施加配重问题尚欠妥,因此在做试验的时候房屋顶部配重有局部滑移,从而对模型施加输入加速度有一定的影响。

因本试验室振动台只能做单向振动台试验,而实际地震时房屋可能承受地震的三向振动作用,因此此次试验结果与实际地震波的作用有一定的出入。由于此房屋结构为单层结构,房屋面积小,结构自振频率低,整体刚度小,因此地震波的横向作用对房屋的影响较大,对结构起主要作用,因此试验结论有一定的借鉴意义。我们会在以后对之进行三向地

震波作用试验作以补充性验证,以求能更好的反应出结构的抗震性能。另外在后面的研究及试验当中我们应对墙体材料的进一步改进及屋面配重问题等都需作出相应的改进,从而使这个新型结构能够在实际得抗震安居工程中得到推广使用。

[参考文献]

- [1] 姚谦峰,陈平. 土木工程结构试验[M]. 北京:中国建筑工程出版社,2001.
- [2] 郑三锁. 动力试验模型在任意配重条件下与原型结构的相似关系[J]. 工业建筑,2000,(30):35-39.
- [3] 刘锡军,邹银生. 底部两层框架结构模型试验及动力相似关系[J]. 工程抗震,2001,12(4):27-28.
- [4] 杨旭东. 振动台模型试验若干问题的研究[D]. 北京:中国建筑科学研究院,2005.
- [5] 郭继武. 建筑抗震设计[M]. 北京:高等教育出版社,1990.
- [6] 万世臻. 新疆伽师地区农村民居震害及重建措施[J]. 工程抗震,1999,10(4):40-42.
- [7] 张勇. 抗震安居房遍布天山南北—发展中的新疆城乡抗震安居工程[J]. 防震博览,2005,(6):25-26.

(上接 35 页)

[参考文献]

- [1] Sivadurai A P S. Elastic Analysis of a Soil-structure Interaction[M]. New Jersey: Preenice—Hall, 1978.
- [2] J P Wolf. Dynamic Soil-Structure Interaction[M]. [S. l.]: Prentice—Hall, 1985.
- [3] 栾茂田,金崇磐,林皋. 非均质地基振动特性及地震反应分析[J]. 大连理工大学学报,1992,32(1): 81-87.
- [4] Ikuo Towhata. Seismic Wave Propagation in Elastic Soil with Continuous Variation of Shear Modulus in the Vertical Direction[J]. Soil and Foundation, 1996, 36(1):61-72.
- [5] 王春玲,黄义,张为民. 指数函数剪切模量的成层土地震反应解析解[J]. 长安大学学报(自然科学版),2003,23(4):15-17.
- [6] Lin Jiahao. A Fast CQC Algorithm of PSD Matrices for Random Seismic Responses[J]. Computer & Structures, 1992, 44(3), 683-687.
- [7] 曾心传,秦小军. 土层对地震的随机反应分析[J]. 地震工程与工程振动,1998,18(3):27-38.
- [8] 王春玲,黄义. 指数函数剪切模量土层的地震随机反应[J]. 岩土力学,2003,24(6):892-895.
- [9] 林家浩. 剪切梁随机地震响应的李兹法[J]. 应用力学学报,1994,11(3):107-110.
- [10] 孔宪京,韩国城,张天明. 土石坝与地基地震反应分析的波动—剪切梁法[J]. 大连理工大学学报,1994,34(2):173-179.
- [11] 刘平,李琪. 基底隔震建筑的剪切梁动力模型[J]. 工程力学,1998,15(3):90-97.