

整体预应力板(梁)柱体系模型振动台试验研究

周立超, 杨晓东, 白羽, 葛晓旭

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 通过整体预应力板(梁)柱体系模型模拟振动台抗震性能实验研究, 介绍了试验研究所得出的主要结论, 并在此基础上对该体系的抗震性能做了评价。

关键词: 整体预应力板(梁)柱体系; 模型; 振动台实验; 抗震性能

中图分类号: TU378 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2003)02-0108-04

Study on Shaking Table Model of Column Slab(Beam) Building Assembled by Monolithic Prestressing

ZHOU Li-chao, YANG Xiao-dong, BAI Yu, GE Xiao-xu

(Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: On the basis of study on the shaking table model of column slab (beam) building assembled by monolithic prestressing, this paper introduces the main results of the test. It also gives out the evaluations on seismic performance of this kind of building system.

Key words: column slab (beam) building assembled by monolithic prestressing; model; shaking table test; seismic performance

0 引言

整体预应力板柱体系(即 IMS 体系)自 1976 年引进我国至今, 已得到了较为广泛的推广应用。国内外多家科研机构进行了大量的试验研究, 得到了基本一致的结论——整体预应力板柱体系的抗震性能不低于整浇结构。由国家自然科学基金资助的项目“传统傣族民居向现代小康住宅过渡试验研究”, 旨在探索由传统民居走向现代住宅, 使其功能改善、材料更新、施工装配化而又保留传统特色。傣族新民居在结构上采用改进的 IMS 体系(整体预应力板(梁)柱体系), 该结构体系具有现场用料少, 施工速度快, 适宜边远山区, 平面组合灵活多样, 墙面和屋面可以根据用户要求和经济条件自己制作组装, 从而降低造价等优点。该结构体系采用高强度等级混凝土, 高强钢筋和轻型屋架, 轻质高强, 预制装配化, 施工速度快, 资源可再生, 符合可持续发展的战略思想。试验选取的独立结构单元, 按 1:2.7 制作模型, 进行振动台试验研究, 探讨该结构体系在不同强度地震动激励下的地震反应及破坏形态, 为改进该体系和促进该体系的推广应用一些探索性的工作。

1 模型设计及制作

1.1 相似关系设计

为了真实地再现原结构体系的工作性状, 本试验对模型进行了相似设计, 考虑到振动台台面尺寸和承重能力的限制, 试验几何相似性系数为 1:2.7(1/2.7), 相似关系如表 1。

收稿日期: 2003-03-14; 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(项目编号: 59868002)。

第一作者简介: 周立超(1965.7~), 男, 研究生; 主要研究方向: 工程抗震。

表 1 模型动力相似关系

相似关系	S_e	S_g	S_E	S_p	S_L	S_X	S_M	S_K	S_i	$S_{\bar{X}}$	$S_{\bar{X}}$
相似系数	1	1	1	1/2.7	2.7	2.7	7.29	2.7	1.643	1.643	1

1.2 模型制作

本次试验模型为一层两板四柱、二层四梁四柱后张整体预应力梁(板)柱结构(如图 1)。柱长沿全高一一次性浇筑完成, 主筋 4Φ8, 并在相应楼层标高位置预留双向 Φ20 孔洞。垫块、边梁 BL、板 B-1 及屋面梁均事先预制好, 预留好预应力筋及灌浆孔道。最后通过张拉高强钢丝, 锚固并用混凝土和砂浆分别灌缝灌孔完成模型制作。

模型用混凝土采用细石混凝土, 配合比为水泥:水:细骨料:粗骨料 = 1:0.52:1.25:2.50, 水泥采用昆明产 425 号硅酸盐水泥, 细骨料采用昆明产龙潭砂, 粗骨料采用粒径为 5~10 mm 的碎石。混凝土试块 30 d 强度为 C45, 弹性模量 $E_c = 3.35 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 。钢筋的力学性能见表 2。

张拉采用单根张拉法, 张拉控制应力为 23 kN, 锚具采用广西柳州 OVM 公司生产的特制试验用高强钢丝特制锚具。为了控制和测试试验过程中预应力筋的应力变化在预应力筋上布置了应变片, 在整个张拉过程中, 用电阻应变仪监测各预应力筋的应变变化, 从而测得张拉结束时的预应力筋的应力。

由于和原型结构采用相同强度等级混凝土和钢筋。为满足 $S_p = 1/2.7$, 综合考虑实际结构的恒荷载和活荷载, 在一层楼面上加两块各 475 kg 的钢筋混凝土块, 在屋面长向梁和短向梁的跨中 1/3, 2/3 位置分别加上 48 kg 和 45 kg 的混凝土块。配重与主体结构可靠连结, 并采取了措施尽量减少由于施加配重对主体结构的影响。

2 动力特性试验

建筑结构动力特性是反映结构本身所固有的动力性能, 动力特性测试是结构动力试验的基本内容, 主要包括结构自振频率、阻尼比和振型等主要特性参数。

试验采用锤击(瞬态)法和电磁激振输入正弦波扫频(稳态)法两种, 测试结构振动时各测点反应信号, 利用分析仪器, 以输入激励为参考信号, 求各测点的频率响应函数, 进行模态参数识别, 得出各阶自振频率、振型和阻尼等动力特性参数。

正弦波扫频实验时, 为使结构振动平稳, 变频平缓, 为改善激振效果, 在宽频带扫频的基础上, 再分段扫频测各阶振动特性。测点布置在基座及楼(屋)盖顶面上, 传感器的分布充分考虑了能够满足观察各种振动的要求, 也能避免局部振动的干扰。

由于本模型结构为双轴双向对称体系, 其两个方向的平动的频率非常接近(见表 3), 但有一非常明显的扭转振型($f = 13.75 \text{ Hz}$), 出现这一现象, 可能是由于其抗扭刚度不足引起的。

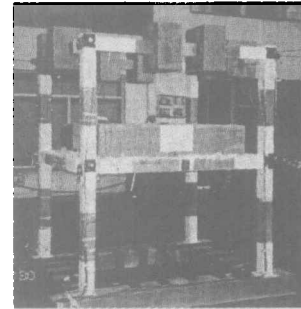


图 1 模型图

表 2 钢筋的力学性能表

型号	实际面积 /mm ²	屈服强度 /N·mm ⁻²	极限强度 /N·mm ⁻²	弹性模量 /N·mm ⁻²
Φ8	50.3	340	440	1.98×10^5
Φ6	28.3	335	452	2.0×10^5
Φ4	12.6	328	441	2.0×10^5
Φ2	3.14	238	318	1.90×10^5
Φ ₅	19.63	1388	1714	2.0×10^5
Φ ₄	12.57	1378	1524	1.95×10^5

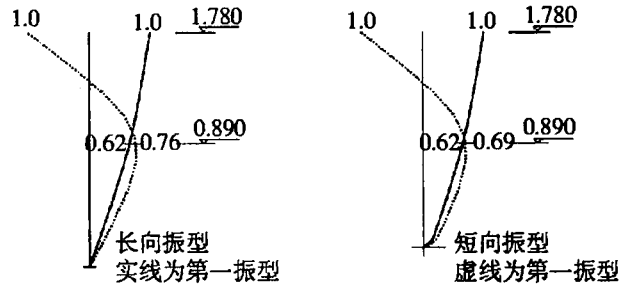


图 2 模型振型图

表 3 模型各阶频率

	试验值	备注
一阶	8.63	长向一阶平动
二阶	8.88	短向一阶平动
三阶	13.75	一阶扭转
四阶	23.75	长向二阶平动
五阶	23.00	短向二阶平动

3 模型振动台试验

3.1 地震波的选取

本次试验通过分析,结合当地地质条件选取 EL-Centro 波 N-S 分量 Turkey 波 E-W 分量按不同的加速度峰值作为输入地震波.EL-Centro(NS)波是 1940 年 5 月 18 日在美国加利福尼亚帝谷(Imperial Valley)地区发生 $M=7.1$ 级强震,最大烈度为 9 度的记录.加速度波形中南北分量最大峰值加速度为 $0.33g$,其主要记录周期范围为 $0.25\sim 0.60s$.远震的影响考虑采用 Turkey 地震波,该地震波记录了 1999 年 8 月 17 日发生在土耳其 Kocaeli 地区的 $M=7.4$ 级强震,最大烈度为 9 度.加速度波形中东西分量最大峰值加速度为 $0.106g$,震中距为 $237.1km$.

3.2 试验工况

本次试验共进行了五个工况的试验,见下表 4.

表 4 试验工况表

工况	地震波类型	加速度幅值	地震波输入方向
1	EL-CENTRO NS 向	0.1 g	X
2	Turkey	0.2 g	X
3	EL-CENTRO NS 向	0.2 g	X
4	Turkey	0.3 g	X
5	EL-CENTRO NS 向	0.3 g	X

3.3 实验设备及装置

振动台采用由美国 MTS 公司生产,具有输出随机波功能,既能水平或竖向单独振动,也能同时两方向联合振动的模拟地震振动台.其台面尺寸 $1.6m\times 2.1m$,频率范围: $0.1\sim 120Hz$,最大载重 $2.5t$,满载容许偏心距 $0.5m$,满载时最大加速度水平向: $1.7g$,竖向向: $2.4g$.

将制作好的结构模型置于地震振动台上,通过计算机控制经 MPS-10D/A A/D 转换数据采集系

统将地震波(本次试验采用 EL-CENTRO 波 Turkey 波)经 D/A 转换成模拟信号输入振动台的模控器,经处理后再控制振动台的作动器在振动台上重现输入的地震波,在地震波作用下结构模型就有动力响应,在结构上布置加速度传感器和应变片,通过加速度采集分析系统和 DH3840 动态应变采集分析系统可将模型上相应动力响应纪录并经计算机分析,最终得到模型结构动力响应结果,振动台试验系统见图 3.

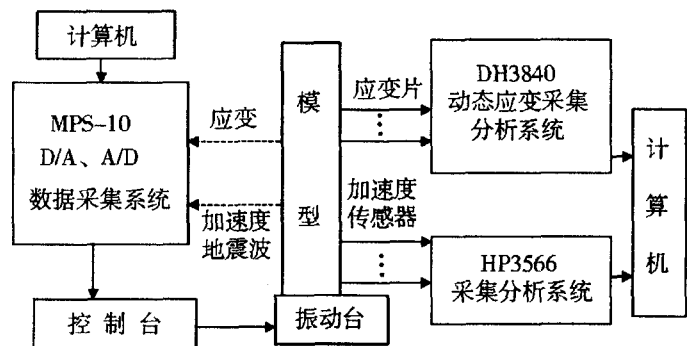


图 3 振动台实验测试系统图

为了测试在振动过程中预应力筋和非预应力主筋应变反应.在所有预应力筋和非预应力主筋上均粘贴了应变片,采用加速度传感器和位移传感器,测量试验中结构的加速度响应和位移响应,加速度传感器布置在结构的基础及一层和二层楼面,位移计安放在结构的一层和二层各一个.

3.4 试验现象及结果

在 8 度多遇地震波输入时(即 EL-CENTRO、Turkey 地震波加速度幅值约为 $0.1g$ 时)下,模型结构没有发现明显的裂缝.在 8 度基本烈度地震作用下(加速度峰值约为 $0.2g$),一层柱子根部出现了明显的水平裂缝.随着振动台面输入峰值加速度提高到 $0.3g$ 时,裂缝出现较多,并且原有裂缝进一步开展,板、柱节点处也出现裂缝,从裂缝形态上来分析,是柱子抗弯能力不足.

振动台试验中在各阶段预应力筋应变均不大,其强度均未超过限值,结构总的顶点位移达到了 $\Delta/H=1/200$,说明结构整体抗侧移能力不足,而且二层屋面的动力放大系数偏大.

振动台试验各测点实测加速度峰值及位移见下表 5,典型加速度反应时程见图 4 和图 5.

表5 振动台试验各测点实测加速度峰值及位移

内容	地震波	EL-Centro			Turkey	
		峰值	峰值	峰值	峰值	峰值
加速度 / $m \cdot s^{-2}$	台面输入	1.21	2.10	2.27	1.86	2.73
	一层楼面	4.01	6.41	7.83	3.75	3.46
	顶层楼面	6.07	9.86	10.80	5.34	5.70
位移/mm	顶层楼面	4.06	7.86	10.51	3.05	3.77

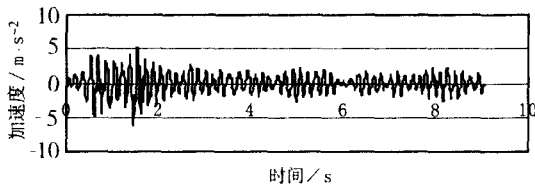


图4 0.2g EL-CENTRO波顶层楼面加速度时程图

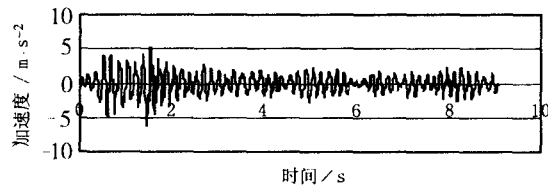


图5 0.2g EL-CENTRO波一层楼面加速度时程图

4 结论及建议

通过振动台试验及理论分析,可得出以下结论及建议:

- 1) 该体系能基本满足8度设防区“小震不坏,大震不倒”的要求。
- 2) 该体系属于强板(梁)弱柱体系,其薄弱部位依次为:一层柱底、板柱节点、二层楼板上下柱截面。
- 3) 根据试验结果,阻尼比符合该体系的一般规律,约为1%~2%,较普通钢筋混凝土结构为低。
- 4) 为了提高该体系的抗震性能和抗震能力,以便在高烈度区推广应用,可考虑采取如增大柱截面尺寸、在结构的适当部位加设剪力墙、加强柱底及节点附近柱截面抗弯能力等措施提高结构的整体抗侧移能力。
- 5) 对该体系的抗震能力作更深入的研究,特别是结构抗竖向地震作用的能力,以及抗扭能力,和在高烈度区及在断层或断层附近使用该体系时应做专门的研究。

参考文献:

- [1] 杨华雄. 整体预应力装配式整体板柱建筑的设计与施工[M]. 北京: 中国计划出版社, 1996. 15~30.
- [2] 建筑抗震试验方法规程(JGJ101-96)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 10~25.
- [3] 苏小卒. 预应力混凝土框架抗震性能研究[M]. 上海: 同济大学出版社, 1998. 81.
- [4] 周立超等. 整体预应力板(梁)柱体系模型振动台试验模型相似关系及其实践[J]. 云南建筑, 2003, (2): 25.