

文章编号:1007-6492(1999)02-0083-03

## 异型柱斜撑框架结构模型振动台试验及建模

石晓蕊<sup>1</sup>, 邓秀泰<sup>1</sup>, 李天<sup>2</sup>

(1. 郑州工业大学土木建筑工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 同济大学土木建筑工程学院, 上海 200092)

**摘要:**通过15层钢筋混凝土异型柱斜撑框架结构模型的模拟地震振动台试验,研究了斜撑框架结构的自振特性、地震反应时程及频谱特征,并采用空间结构有限元分析程序进行了建模研究和理论计算。计算模型采用空间梁单元与空间板单元,材料特性取实测值。通过模态计算得到结构各阶自振特性值,利用直接积分法计算结构的动力反应,由数值的分析可知,理论计算与试验结果一致。

**关键词:**框架; 异型柱; 斜撑; 振动台试验; 地震反应

**中图分类号:** TU 973.16 **文献标识码:** A

### 0 引言

剪力墙是钢筋混凝土框架——剪力墙结构的主要抗侧力构件,根据剪力墙承受水平荷载的受力破坏机理可知,在反复水平荷载作用下,墙体出现与主应力方向垂直的主要斜裂缝而发生剪切破坏<sup>[1]</sup>。在剪力墙的实际受力部分,考虑采用两根斜撑分别沿主压、主拉应力方向布置取代剪力墙,以期达到相同的抗剪效果,由此形成钢筋混凝土斜撑框架结构体系。考虑到高层建筑常因结构自重较大而导致下部几层柱断面尺寸一般很大,房间角部易暴露柱角而影响使用和美观,在模型结构设计中采用了异型柱。

为深入研究该结构体系的动力性能及地震反应特性,郑州工业大学与邮电部设计院、上海同济大学合作,进行了缩尺比为1:7的15层钢筋混凝土异型柱斜撑框架结构模型的模拟地震振动台试验,考察用斜撑代替抗震墙之后的结构抗震性能。

### 1 试验模型及试验方案

试验模型以上海市中国农业银行杨浦支行投资建设的一幢15层写字楼为原型结构,取其典型结构单元,严格按照相似理论进行设计,与原型结构几何尺寸相似比为1:7。结构平面为双跨双开间,柱网尺寸见图1。模型总高6.25 m,层高均为0.4 m,底梁高0.25 m。两轴框架BC跨各层均设

置八字形支撑,柱采用异型柱,断面为一字型、十字型、L型、T型4种形式,梁、撑均为矩形截面。

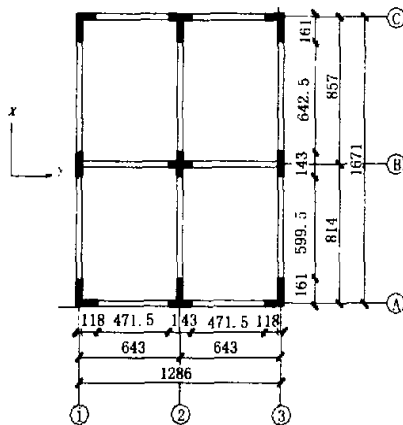


图1 模型平面图

试验模型在各层中柱附近均布置X、Y向加速度传感器,同时在9层和顶层楼板上各设1只Z向加速度传感器。振动台台面上安放1只位移计,位移计的另一端固定在地面上,其测试记录为结构的绝对位移反应。为校准测试仪器,试验时还在模型的第3层设置了1只位移计,其另一端与固定在台面上的铁架相连,测得第3层楼面的相对位移,以与实测加速度积分所得位移值做对比。

针对原型结构建设在上海市这一原因,试验时,选用频率特性与上海地区场地相适应的上海

收稿日期:1999-01-11;修订日期:1999-04-01

基金项目:河南省科技攻关项目(951190101)

作者简介:石晓蕊(1974-),女,河南省周口市人,郑州工业大学硕士研究生。

波,以及相当于Ⅱ,Ⅲ类场地的1940年El-Centro地震波作为输入地震动.试验共进行了名义加速度峰值为0.078 g,0.225 g,1.2 g的Y向、三向El-Centro波和Y向上海波等6个工况,以及4个余震试验工况测试.试验前后分别进行一次白噪声扫描,以得到结构破坏前后的动力特性.

## 2 试验结果与理论分析

理论计算采用空间结构有限元分析程序,依据试验模型实际结构尺寸建立结构的计算模型,梁、柱、斜撑均采用具有6个自由度的空间梁单元,楼板采用空间板单元,每节点具有5个自由度.计算模型中共有375个梁单元和300个板单元.试验模型设计中考虑了材料配比的随机扰动影响,计算模型中材料特性根据试验实测结果输入,共有15种材性.考虑了构件的双向受弯、扭转作用以及剪切变形的影响.试验模型上为满足相似比设计而增设配重铁块,计算时将其质量折算到楼板中,通过提高板单元的材料密度加以考虑.根据实测自振频率得到相应于各阶频率的瑞利阻尼系数.按单向和多向地震作用计算模型结构,采用直接积分法进行结构动力反应的计算.

### 2.1 模态分析

通过利用线性传递函数处理试验前后白噪声

激励的信号记录<sup>[2]</sup>,可以得到试验各阶段模型的自振特性.

#### 2.1.1 频率

从试验实测的前4阶自振频率变化图(图2)可以看出,结构在完全弹性状态到弹塑性破坏状态的过程中(图中3个阶段分别对应于弹性、塑性破坏及余震状态),频率下降率随着自振频率阶数的增加而减小,以第1自振频率下降幅度为最大.说明结构非弹性变形的发展对于低阶频率的影响要大于对高阶频率的影响,而基频对于结构动力反应的影响最为显著.前4阶自振频率的试验值与理论计算值列于表1中.

表1 前4阶自振频率值 Hz

自振频率	试验值	计算值
$f_1$	3.83	3.798
$f_2$	14.361	12.147
$f_3$	26.425	23.224
$f_4$	41.552	38.078

#### 2.1.2 振型

模型结构破坏前后的实测振型反应图(图3)显示出模型结构的振型基本上呈弯剪型.由于结构的严重开裂与非弹性变形的发展,造成了结构刚度下降,反映在振型图上表现为各阶振型在破坏较为严重的中部楼层有不同程度的外鼓现象,振型幅值的零点位置也均有所下降.

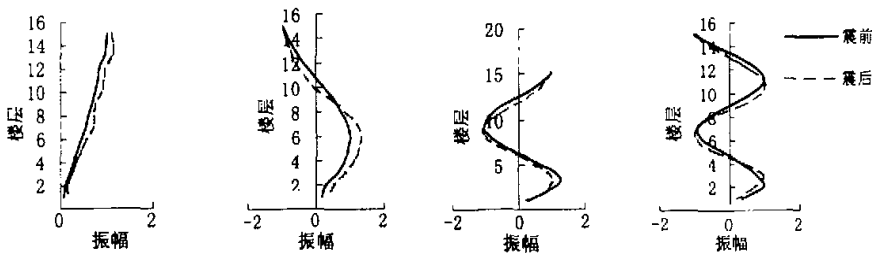


图3 模型振型图

#### 2.1.3 阻尼

通过白噪声激励实测得到结构在破坏前后的阻尼比列于表2中.

表2 前4阶阻尼比实测值

试验阶段	初始状态	严重破坏后	余震试验后
$\xi_1$	0.033	0.115	0.170
$\xi_2$	0.031	0.069	0.098
$\xi_3$	0.024	0.038	0.052
$\xi_4$	0.018	0.022	0.028

从表中数据可以看出,第1阶阻尼比始终大

于第2阶阻尼比,振型阶数越高,阻尼比值越小;振型阶数越低,阻尼比增长越大.随着输入地震波峰值的增大,结构上裂缝不断开展,弹塑性变形逐渐增加,结构的阻尼比也随之提高.

### 2.2 地震反应的时程分析

图4是输入名义加速度峰值为0.078 g三向El-Centro波时,模型顶层和用有限元分析程序计算相同层的位移反应时程曲线,可以看出计算值与实测值符合较好.

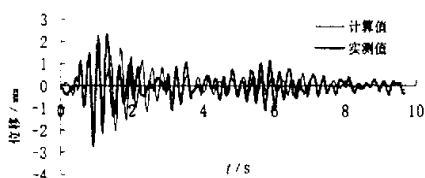
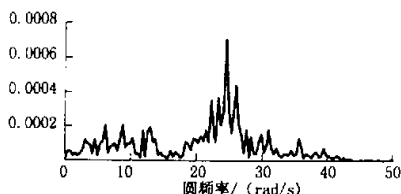


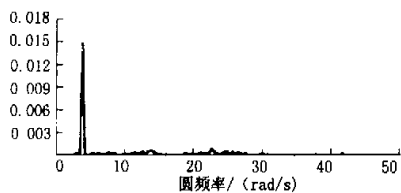
图4 顶层位移反应时程

### 2.3 地震反应的频谱分析

通过采用含有传递函数和相关函数的功率谱程序进行谱分析,得到结构各层绝对加速度功率谱,底层功率谱如图5所示。



(a) 三向 El - Centro 波作用



(b) 单向 El - Centro 波作用

图5 绝对加速度功率谱图

结构遭受单向 El - Centro 波时,第1振型对

加速度反应具有绝对影响,其影响占整个反应的95%。而三向 El - Centro 波作用下,结构的绝对加速度反应主要受前3阶振型的影响,高振型在模型结构上部几层的影响明显加大。

### 3 结论与建议

(1) 振动台试验结果表明,在强震作用下,异型柱斜撑框架结构的破坏主要集中在斜撑及框架梁上,柱端基本完好,呈现典型的梁铰破坏机制,具有良好的抗震性能,说明以斜撑作为抗侧力构件,能够取得与剪力墙相同的抗震效果。

(2) 理论分析中采用空间梁单元(梁、柱、斜撑)与空间板单元组成的结构计算模型,无论是模态分析,还是时程分析,所得结果均与试验值吻合较好。

(3) 在试验结果处理及理论计算分析中,均反映出输入加速度峰值相同的单向与双向地震波时,结构的地震反应不同,三向地震波使结构振动产生空间耦合影响,计算中不宜采用楼板平面内刚度无限大的假定,宜采用结构空间工作原理。

### 参考文献

- [1] 王万钊,秦修焯.钢筋混凝土桁架式结构在水平荷载下的性能试验研究[J].工程抗震,1987,8(1):18-21.
- [2] 李杰,李国强.地震工程学[M].北京:地震出版社,1992.90-94.

## Shaking Table Test and Model Establishment of Reinforced Concrete Frame Model with Hetero-columns and Diagonal Braces

SHI Xiao-rui<sup>1</sup>, DENG Xiu-tai<sup>1</sup>, LI Tian<sup>2</sup>

(1. College of Civil & Building Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Civil & Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In this paper, by means of shaking table test study on 15-floors reinforced concrete frame model with hetero-columns and diagonal braces, the natural vibration property, history process and frequency-spectrum feature of earthquake action are analysed. A reasonable calculation model of this structure is built and theoretical calculation is accomplished through a spatial finite element program. A conclusion that the calculated results are consistent with the experimental result is reached.

**Key words:** reinforced concrete frame; hetero-column; diagonal brace; shaking table test; earthquake action