

文章编号: 1671-6833(2005)04-0005-04

多层住宅新型复合结构在竖向荷载作用下的试验分析

王新玲, 张海东

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 通过对用于多层住宅的一榀新型复合结构模型在竖向荷载作用下的试验, 研究了复合结构在正常使用阶段和承载力极限状态时梁柱及支撑的各截面应力、裂缝、变形和破坏形态. 结果表明, 一榀五层复合结构, 在梁柱截面为 250 mm × 250 mm、支撑截面为 120 mm × 120 mm、承载面积为 4.2 m × 4.2 m 的情况下, 荷载达到一般住宅竖向荷载标准值及设计值时, 梁的裂缝和挠度远小于混凝土规范限值. 复合结构在竖向荷载作用下的破坏形态为梁铰机构体系; 并建议梁的高度取实际跨度的 1/14~1/10.

关键词: 复合结构; 试验研究; 塑性铰; 新型住宅

中图分类号: TU 375 **文献标识码:** A

0 引言

多层住宅新型复合结构是由钢筋混凝土柔性柱、柔性梁和钢筋混凝土人字支撑组成的复合结构代替原住宅中的承重砖墙, 使住宅形成复合结构体系代替原砌体结构.

由已进行的计算分析表明^[1~4], 新型复合结构体系的突出优点如下所述: ①所加支撑首先参与承受竖向荷载, 使梁柱在竖向荷载作用下的内力大大减小(即竖向荷载作用下, 支撑为梁的支点)^[1], 然后在风荷载及地震作用下支撑再起主要的抗侧、抗震作用. ②可以较自由的分隔室内空间, 使建筑内部装修和结构结合, 达到意想不到的效果. ③围护墙体可采用新型的轻质墙体材料^[3]. 大大促进了建筑墙体的改革, 保护耕地, 彻底取代黏土砖, 符合可持续发展要求.

住宅建筑结构在正常使用状态下, 主要承受竖向荷载(结构自重及楼面、屋面的活荷载), 因此本文通过对设计的模型试件施加竖向荷载, 测出复合结构在使用荷载作用下各构件控制截面的应力; 对复合结构在正常使用极限状态的裂缝、变形及竖向承载力极限状态时的极限荷载及最大变形进行了分析讨论.

1 试验简介

1.1 试件设计

试验采用 1:2 缩尺模型(原型梁柱截面 250 mm × 250 mm, 支撑 120 mm × 120 mm, 跨度 4.2 m, 高度 2.9 m), 梁柱混凝土保护层厚 20 mm, 支撑 15 mm. 混凝土采用 C30, Φ14 钢筋采用 HRB 335 级; 其他钢筋均为 HPB 235 级. 混凝土与钢筋的实测指标如表 1 所示. 试件设计见图 1.

表 1 材料强度实测值

Tab. 1 The test strength of steel and concrete

钢筋	屈服强度 f_y /MPa	极限强度 f_u /MPa	伸长率 δ /%	轴心抗压强度设计值 f_c /MPa	弹性模量/ MPa ²
Φ6.5	333	497	31.0		
Φ8	352	536	25.0	15.13	3.03 × 10 ⁴
Φ10	306	451	27.5		
Φ14	332	474	35.0		

1.2 量测内容和方法

试件主要研究竖向荷载作用下性能要求, 试验中, 将应变片布置在梁跨中、支座截面及柱和支撑的支座截面, 量测构件中的钢筋应力; 用百分表量测两跨梁跨中的挠度及中间支座和边支座的竖向位移; 布置图如图 2 所示. 应变值用清华大学开发的 I MPDas (S) 数据采集系统(串口通讯版 I MPDas (S)) 记录; 百分表采用人工读数的方式测量位移.

1.3 加荷方式及装置

竖向荷载加荷装置图如图 3 所示. 竖向荷载

收稿日期: 2005-07-08; 修订日期: 2005-09-25

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(511050400); 河南省教育厅自然科学研究项目(200510459055).

作者简介: 王新玲(1963-), 女, 河南新乡人, 郑州大学教授, 在读博士研究生, 主要从事结构工程方面的研究.

用油压千斤顶由竖向反力架通过同步液压加载器施加在两个柱顶和两个梁的跨中,用于模拟屋面、楼面及墙体的荷载.两边柱顶上部的2台同步液压加载器两次加载G1后保持不变(30kN加至60kN),模拟5层住宅底层柱承担的上部各层传来的荷载[按文献[1]计算的楼层荷载].梁上2台

液压器则根据理论计算的破坏荷载分级加载G2,构件开裂前,每级荷载取开裂荷载的10%,较精确地测出开裂荷载及每级荷载作用下的应变和变形.开裂后,每级荷载取破坏荷载的20%,加至破坏,测出各级荷载作用下的变形裂缝等指标.

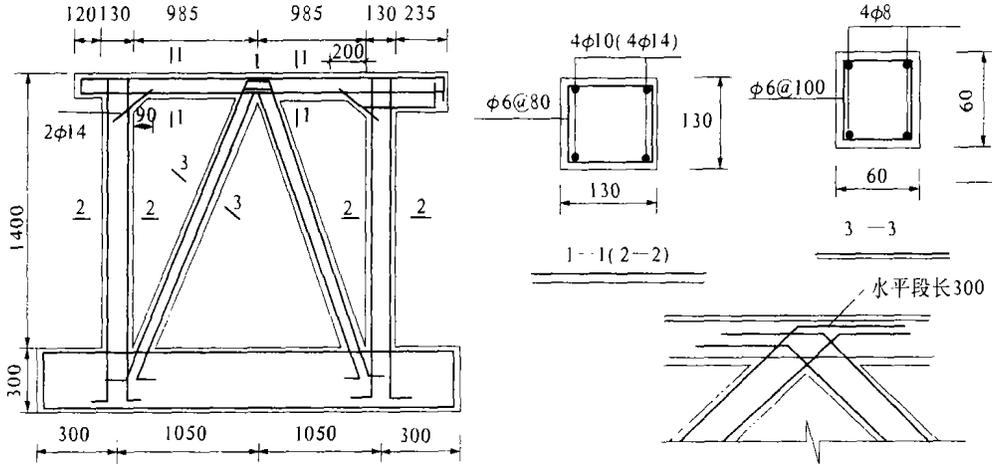


图1 试件截面及配筋图

Fig. 1 The section and steel figure of test member

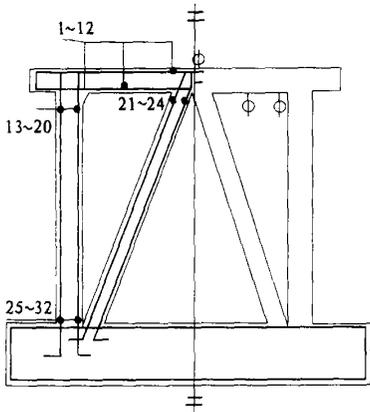


图2 试件应变片和百分表布置

Fig. 2 The positions of strain device and dial gauge

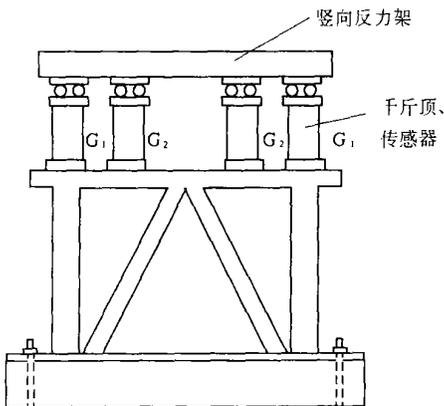


图3 竖向荷载试验加荷装置图

Fig. 3 The test device figure under vertical load

加载制度(G2): 3, 7, 8, 10, 14, 18, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 44, 48, 50, 79, 83kN.

G₂加至14kN时,相当于计算的住宅楼层的荷载标准值;加至18kN时,相当于住宅楼层的荷载设计值^[1].

1.4 试验过程与现象

当梁上荷载小于12kN时,试件上没有观察到裂缝出现,基本处于弹性工作阶段.加载至12kN时,左侧梁跨中及中间支座(支撑上方)顶部首先出现垂直裂缝.梁上荷载达到14kN时,右侧梁跨中开裂,梁最大裂缝宽度0.05mm;梁上荷载加至18kN时,左侧梁跨中裂缝宽度发展到0.1mm.继续加荷载至26kN时,各裂缝继续延伸,有所发展,左侧梁跨中底部裂缝最大宽度0.2mm.梁上荷载加至30kN,又分别在梁跨中和支座上方出现新的垂直裂缝,左侧梁跨中底部裂缝宽度达到0.3mm,梁中间支撑部上方出现第三条裂缝.随着梁上荷载的不断增大,可以看出梁跨中竖向变形愈趋明显.当加载至79kN时,两侧梁跨靠近柱侧均出现斜裂缝,柱顶出现第二条裂缝,左侧梁跨底部裂缝宽度1.8mm,右侧梁跨中出现一条新的弯曲裂缝,此时梁柱端裂缝宽度增大.加载至83kN时,左侧梁跨沿45°斜裂缝剪切破坏,承载力下降,结构破坏,如图4所示.

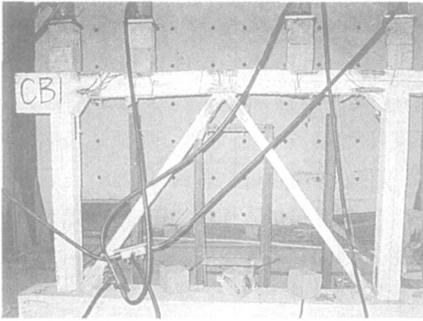


图4 CB1破坏图

Fig.4 The failure figure of CB1

2 试验结果分析

2.1 试验曲线

如图5所示为梁跨中荷载—挠度图,梁跨中底部受拉钢筋应变图如图6所示.从图中可以看出,试验构件的梁在荷载作用下经历了梁跨中开裂(12kN)、梁跨中受拉钢筋屈服(50kN)后到达极限荷载点而破坏.图7,8分别为梁支座钢筋和支撑及柱钢筋的荷载应变图.

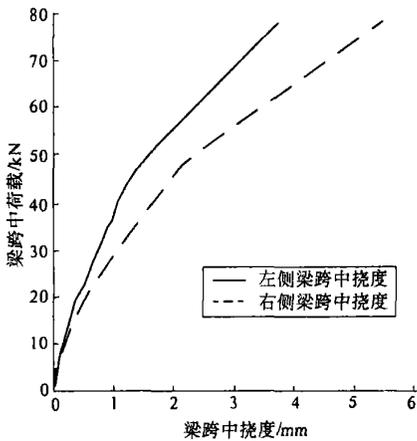


图5 梁跨中荷载—挠度图

Fig.5 The load—deflection of beam at mid span

2.2 试验结果分析

图5荷载—挠度曲线表明,刚开始加荷,梁跨中挠度值很小,挠度和荷载成线性关系,结构处于弹性阶段;当梁上荷载加到12kN时,曲线出现转折点,梁由弹性状态进入带裂缝工作状态,刚度有所下降,表示梁跨中截面混凝土开裂;随着裂缝的发展,梁挠度不断增长.梁上荷载加至50kN,曲线出现明显的转折点,此时梁跨中底部裂缝宽度达到1~1.2mm,右跨梁边支座出现斜裂缝;再增加荷载,跨中挠度增长速率加快,结构刚度下降明

显,达到破坏荷载时,跨中最大挠度达到5.45mm,为跨度的1/190.

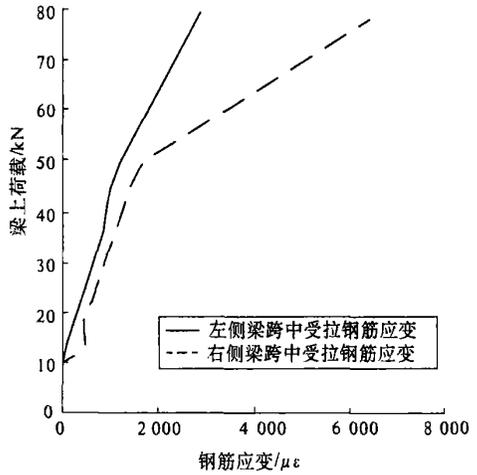


图6 梁跨中底部钢筋应变图

Fig.6 The steel strains of beam at mid span

由图6,7可以看出,当荷载加至12kN时,图中曲线有一个明显的转折点,即跨中和中间支座截面开裂,使钢筋应变突然增大,然后钢筋应变与荷载成线性增长;当荷载加至50kN时,曲线又出现拐点,曲率明显增大,此时对应钢筋应变均已达到或超过1400 $\mu\epsilon$,说明钢筋屈服,相应裂缝宽度达到1.2mm,即梁跨中和中间支座截面均形成塑性铰.而图7中梁两个边支座钢筋均未达到屈服.此时结构虽然可以继续加载,但梁跨中裂缝已达到1.2mm,达到了不能继续承担荷载的裂缝宽度.

图8反映了支撑和柱受压钢筋的应变随荷载变化曲线,二者和荷载基本成线性增长,当荷载加至50kN时,支撑与柱中的钢筋应变仅为200~350 $\mu\epsilon$ 之间,这就说明支撑完全可以作为梁的支点承受竖向荷载;直至结构破坏,二者钢筋应变值依然较小,显示支撑在承受竖向荷载时具有良好的性能,刚度较高.

从试验破坏过程可以发现,当梁加荷至50kN时,梁跨中和支撑部位的梁上部受拉钢筋屈服形成了塑性铰,而梁的边支座中受拉钢筋未达到屈服.继续加载,在梁边支座(柱边)出现斜裂缝,即梁截面出现内力重分布,最后梁边截面在弯剪复杂应力作用下达到剪切破坏,分析原因,是由于箍筋配置偏少或梁高度偏大,使正截面抗弯承载力较高.因此,新型复合结构在竖向荷载作用下的破坏机制梁铰机构,即在斜截面承载力保证的条件下,梁在跨中、和所有支座截面出现塑性铰,形成破坏机构.

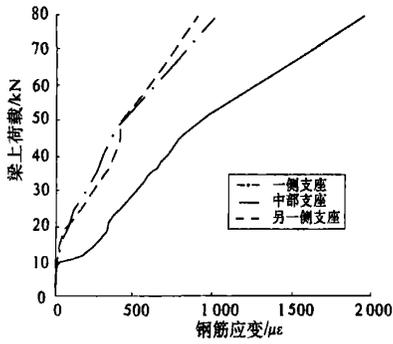


图7 梁支座钢筋应变

Fig. 7 The steel strains of beam at support section

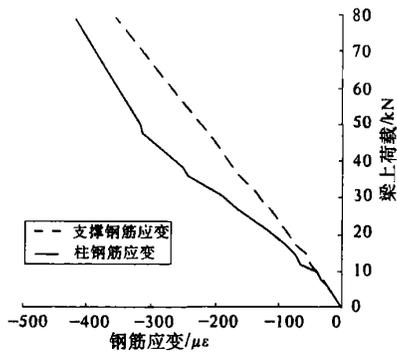


图8 支撑与柱钢筋应变

Fig. 8 The steel strains of brace and column

2.3 构件极限状态分析

在梁上施加住宅楼层的荷载标准值(14 kN)和荷载设计值(18 kN)^[1],实测的裂缝宽度及挠度值如表2所示.混凝土规范^[4]中,梁达到正常使用极限状态时裂缝和挠度与跨度比值的限值分别为 $[W_{\max}] = 0.2\text{mm}$, $[f/L] = 1/250$.

表2 试件实测梁挠度、裂缝

Tab. 2 The test cracks width and flections of beam

荷载/kN	实测裂缝宽度值/mm	实测挠度值f/mm	实测挠度值/梁跨度(f/L)
14	0.05	0.35	1/3 000
18	0.10	0.49	1/2 140

从表中可以看出,正常使用荷载作用下裂缝宽度、挠度值的实测值比规范限值小很多,即使达到荷载设计值,其裂缝宽度、实测挠度值与梁跨度比值亦远小于规范限值.满足正常使用阶段的要求,表明构件有较高的强度和较大的刚度.

强度和刚度是结构设计的两个重要指标.对于本文介绍的复合结构,梁的强度和刚度直接关系到结构整体的承载力.因此,设计时应使柔性梁

的刚度适中,以便于充分发展柔性梁的变形,保证截面发生受弯破坏.从表2可以看出,梁的变形还有较大的发展空间,而各构件的强度、变形利用情况则是:当梁上荷载加至大约79 kN左右,梁跨中和中间支座钢筋均已经屈服,两个边支座钢筋均未屈服,但应变分别已达到 $1\ 028\ \mu\epsilon$ (应力为216 MPa)与 $921\ \mu\epsilon$ (应力93 MPa),梁基本达到极限承载能力,此时支撑中的钢筋应变 $-350\ \mu\epsilon$ (应力 $-74\ \text{MPa}$),柱中钢筋应力 $-88\ \text{MPa}$.由以上分析可知:柔性梁的截面高度偏大,试件的梁高度大于了其跨度的 $1/10$ ($250/2100=1/8.4$),导致边支座截面发生剪切破坏,因此建议柔性梁截面高度取跨度的 $1/10\sim 1/14$,支撑和柱配筋减小.

3 结论

(1) 试验结果表明:裂缝、梁跨中挠度满足混凝土规范要求,且远小于限值,说明支撑在正常使用阶段参与承受荷载,复合结构具有良好的刚度.

(2) 复合结构在竖向荷载作用下的破坏是由于梁截面承载力不足引起的,其破坏形态为梁铰机构体系,而支撑和柱应力均较小,因此支撑和柱配筋主要由抗震设计控制.

(3) 通过试验发现,对构件施加竖向荷载后,承受复杂应力的梁就控制了构件的承载能力.为使柔性梁保持相当的刚性(截面高度)又能充分发展变形实现强剪弱弯,建议柔性梁截面高度取相应跨度的 $1/10\sim 1/14$.

参考文献:

- [1] 王新玲,李海明,杨广宁.多层住宅新型复合结构体系的结构选型分析[J].工业建筑,2005,35(1):37~39.
- [2] 王新玲,赵更奇,杨广宁.带“人字”支撑的新型复合结构体系动力特征研究[J].世界地震工程,2004,20(2):69~72.
- [3] 王新玲,李海明.多层住宅新型复合结构体系的动力特性分析[A].重庆大学土木工程学院.第八届全国混凝土结构基本理论及工程应用学术会议论文集[C].重庆:重庆大学出版社,2004.
- [4] 王新玲,李海明.新型住宅延性复合结构体系受弯性能分析[J].结构工程师,2003,(增刊):279~282.
- [5] 杜太生,吉瑞林.新型轻质墙体材料的性能测试和有限元分析[J].郑州大学学报(工学版),2002,23(4):68~71.
- [6] GB 50010-2002,混凝土结构设计规范[S].

(下转第47页)

与提纯. 郑州大学学报(工学版), 2004, 25(3): 6~8.

北京: 化学工业出版社, 1988.

[8] KRELL E(德国). 实验室蒸馏指南[M]. 陈甘棠, 译.

Separation on Mixture of Chlorocyclohexane, Cyclohexane and Cyclohexene

ZHOU Cai-rong, WANG Hai-feng, GAO Yu-guo, HAO Hong-ying, LI Qu-hong

(School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This experiment mainly aims at separation and purification of chlorocyclohexane, confirms optimal technology conditions and obtains upper product. Firstly the mixture is separated by means of batch fractionating to get rid of most of cyclohexane, cyclohexene and a few impurities, and we review influence factor of rectify process: temperature, reflux ratio, heating total reflux hour and so on. After rectifying, filter solution of the bottom to obtain the product. In the process, the goal is to remove cyclohexane, cyclohexene and a few impurities. In addition, we also research the analysis method of chlorocyclohexane and correction factor. Influence factors of the two processes are reviewed, which include temperature, reflux ratio, total reflux time and vacuum pressure. For the first process which obtain rough chlorocyclohexane, the optimal operation conditions are as follows: the heating voltage is 160 V, total reflux time is 30 min, and the reflux ratio is 4.5~3~1.5. For the next process to produce high purity chlorocyclohexane, the vacuum pressure is 0.068~0.072 MPa. The purity of chlorocyclohexane is 99.06%.

Key words: chlorocyclohexane; cyclohexane; cyclohexene; batch fractionating

(上接第8页)

Experiment and Analysis of New Style Compound Structure Under the Vertical Load for Multilayer Residential Buildings

WANG Xin-ling, ZHANG Hai-dong

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Based on the experiment of a new compound structure for multi-story residence under vertical loads, the stress and cracks and deflection of a compound structure model are studied. The test result indicates that a six-story compound structure with the sections of beams and columns being 250 mm × 250 mm and the section of braces being 120 mm × 120 mm and loading area being 4.2 m × 4.2 m satisfied the code requests of cracks and deflection and capacity in a way of vertical loads combination. The collapsing mechanism of the structure under vertical loads belongs to "beams' plastic hinges mechanism". This paper suggests that the ratio of height and span of the beam be 1/14~1/10.

Key words: compound structure; experimental study; plastic hinge; new style residential building