

文章编号:1000-582X(2008)09-1064-04

隔墙下带加强钢筋厚板的非线性静力分析

曹永红, 曹 晖, 伍川生, 白绍良

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400030)

摘 要:针对目前建筑结构中经常出现的钢筋混凝土大厚板中隔墙下的加强钢筋或暗梁没有明确设计规定,设计人员大多依靠经验进行简单计算的不足,对一采用大板的实际剪力墙住宅结构,在 ANSYS 中建立其局部有限元模型进行计算分析,模型中包含剪力墙、厚板和板中加强钢筋以及隔墙。钢筋采用 Link8 单元,其余均采用三维实体单元,其中厚板采用能考虑混凝土非线性的 Solid65 单元。针对在竖向荷载作用下结构模型的非线性静力分析结果,对隔墙、板和加强钢筋的受力进行了讨论,对隔墙的采用和加强钢筋的设计提出了建议。

关键词:有限元;钢筋混凝土;隔墙;加强钢筋

中图分类号:TU311

文献标志码:A

Non-linear static analysis of thick reinforced concrete slabs with reinforcements under partitions

CAO Yong-hong, CAO Hui, WU Chuan-sheng, BAI Shao-liang

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

Abstract: There are no clear design standards for the concealed beams or reinforcements under partitions in big and thick slabs which often appear in contemporary reinforced-concrete residential buildings. Designers have to rely on engineering experiences to design such concealed beams or reinforcements. We built a local finite element method model of a real building in ANSYS. The model included shear walls, big slabs and partitions, and the underlying reinforcements. The element for reinforcement was Link8, and the others were solid elements. Specifically, the element for big slabs was solid65 which can assess the non-linear behaviour of concretes. Based on analysis results, we discuss the internal forces of big slabs, partitions and reinforcements. We offer suggestions for the design of reinforcements and selection of partitions.

Key words: finite element method; reinforced concrete; partition; reinforcement

在建筑设计中,经常需要在楼面上布置隔墙以分隔空间,如住宅楼中的卫生间、厨房、贮藏间、壁柜等的分隔。通常的做法是在隔墙下设置小梁承受墙体荷载,但这样容易影响到天棚的平整美观,而且隔墙较多时出现多级次梁,传力不明确。为此,在现在的住宅设计中,有一种趋势是采用大板设计,即将一

户的楼盖设计成一块或者少数几块大板,板中对应隔墙的地方设置暗梁或者放置加强钢筋。这种方法虽被大量采用,但设计规范对此没有规定明确的设计计算方法,设计人员大都依靠工程经验或者简单近似的计算。笔者以一工程实例,采用有限元方法对隔墙下厚板进行分析,以期给设计提出合理的

收稿日期:2008-06-21

基金项目:教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(教外司留 2005331)

作者简介:曹永红(1969-),女,重庆大学讲师,主要从事结构分析和施工技术方向研究,(Tel)65127725;

(E-mail)caoyh123@163.com。

建议。

1 工程实例及结构模型

该工程为一高层住宅建筑,剪力墙结构,其局部平面见图 1,尺寸单位均为 mm,C30 混凝土^[1]。图

中,板厚 160 mm 的大板尺寸为 6.5 m×11.45 m,板配筋如图所示。板上纵横放置 4 片隔墙,墙厚 200 mm,每片隔墙下对应位置板中设置 3 根 $\Phi 14$ 的 HRB335 加强钢筋,长向钢筋拉通,短向钢筋搭在长向钢筋上,搭接部位点焊。

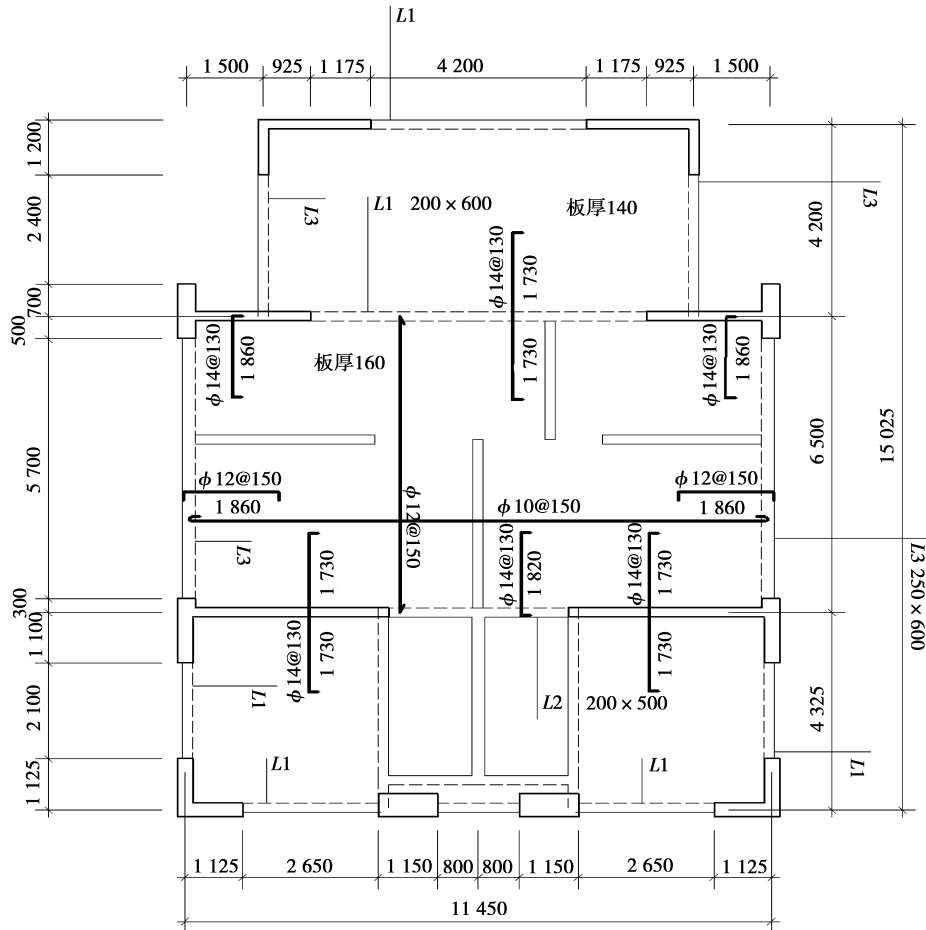


图 1 结构局部平面图

采用 ANSYS 建立结构模型,层数为 1 层^[2-4]。为考虑隔墙和楼板的共同工作,准确得到加强筋的应力,混凝土和隔墙均采用实体单元。其中,160 mm 厚的大板采用能考虑混凝土开裂的 solid 65 实体单元,板钢筋弥散在单元中,以配筋率的方式输入。其余楼板和梁、剪力墙以及隔墙均采用 solid 45 实体单元,隔墙下的加强筋采用 link8 单元^[5-9]。约束剪力墙底部面上的所有自由度,结构几何实体模型如图 2 所示。

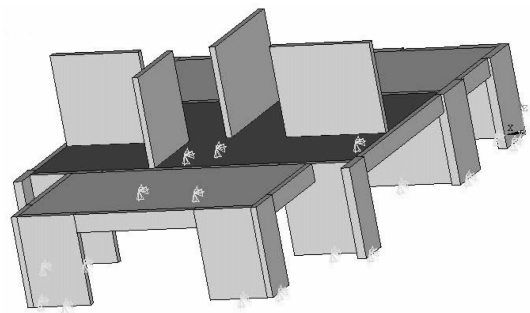


图 2 结构几何实体模型

永久荷载包括所有构件及隔墙的自重和面层抹灰等,可变荷载按荷载规范取值^[10],考虑基本组合(永久荷载乘 1.2 的系数,可变荷载乘 1.4 的系数)和标准组合(荷载均取标准值)2 种情况。混凝土的泊松比取 0.2,密度 2.5 t/m³,弹性模量 30 GPa^[11]。Solid65 单元采用 William-Warnke 强度准则及多线性

动力硬化模型(multilinear kinematic hardening)^[12],混凝土受压峰值应变取 0.002,峰值应力对应荷载基本组合和标准组合分别取 14.3 MPa 和 20.1 MPa,极限压应变取 0.003 5,抗拉强度对应荷载基本组合和标准组合分别取 1.43 MPa 和 2.01 MPa^[11-14]。混凝土开裂后,其张开裂缝的剪切传递系数(ShrCf-Op)

取 0.5^[12-14]。闭合裂缝的剪切传递系数(ShrCf-C1)取 0.9。加强钢筋屈服强度对应荷载基本组合和标准组合分别取 300 MPa 和 335 MPa,泊松比 0.25,弹性模量 200 GPa^[11]。隔墙采用混凝土空心砌块,密度 1.18 t/m³,泊松比 0.08,按砌体结构设计规范(GB 50003-2001)^[15]的规定,当砌块强度等级为 MU10,砂浆强度等级为 Mb7.5 时,砌体抗压设计强度 $f=2.50$ MPa,相应的弹性模量为 4.00 GPa;当砌块强度等级为 MU7.5,砂浆强度等级为 Mb5 时,砌体抗压设计强度 $f=1.71$ MPa,相应的弹性模量为 2.57 GPa。

2 有限元计算

考察的对象是 160 mm 厚板、隔墙和隔墙下板中的加强钢筋。当隔墙弹性模量取 4 GPa,荷载采用基本组合时,非线性静力分析结果表明,加强钢筋的最大应力为 178 MPa,发生在长、短向钢筋相交处的短向钢筋中,如图 3 所示。此时板的最大竖向位移为 0.014 6 m,板上、下面裂缝较多。从图 3 可以看到,长向钢筋的应力明显比短向钢筋的应力小得多。短向钢筋的应力为两端大,中间小。这可以从图 4 的短向隔墙应力分布得到解释。隔墙底部两端为压应力,中部为拉应力,即隔墙有起拱的效应。隔墙荷载通过拱效应传递到底部两端,使得隔墙两端下面的钢筋应力比隔墙中部下面钢筋的应力大得多。

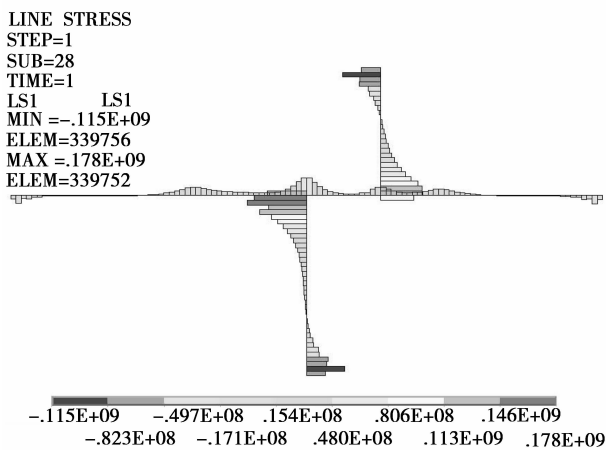


图 3 加强钢筋应力图

为了考察加强钢筋数量、混凝土强度等级、隔墙弹性模量以及荷载大小等因素对钢筋应力的影响,分列 7 种情况来分析。其中第 1 种情况为刚才已经讨论的情况。各种情况的设置和分析结果如表 1。

表 1 各种情况设置及分析结果表

加强钢筋数量 (HRB335, 直径 $\Phi 14$)	砼强度 等级	隔墙弹性 模量/GPa	荷载情况	钢筋最大 应力/MPa
1	3	C30	基本组合	178
2	2	C30	基本组合	233
3	1	C30	基本组合	279
4	3	C25	基本组合	212
5	3	C30	基本组合	146
6	3	C30	标准组合	135
7	1	C30	标准组合	216

NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB=28
TIME=1
S1 (AVG)
DMX=.014644
SMN=-876.901
SMX=85992

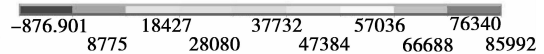
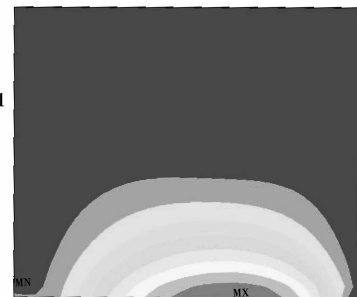


图 4 短向隔墙应力图

3 受力分析讨论

在后 6 种情况下,加强钢筋应力和隔墙应力等结果与第 1 种情况的结果有类似的规律,故应力图省略。对比各种情况的结果,分析如下:

1) 加强钢筋最大应力发生在短向钢筋中,从情况 1 到情况 3,钢筋逐根减少,钢筋的最大应力逐渐增大。而长向钢筋的应力在各种情况下都较小。从板的 2 个方向的应力图可知,沿短跨方向应力比沿长跨方向更大。这说明板上的面荷载主要沿短跨方向传递,相应地短向钢筋应力比长向钢筋应力更大。另外,不论纵向还是横向的隔墙荷载,都主要沿短跨方向传递,长向的加强钢筋几乎没有分担其上部隔墙的荷载。

2) 配置 3 根加强钢筋相比只配置 1 根加强钢筋,板的最大挠度降低 5%,当然其贡献主要来自短向钢筋。从情况 4 可以看到,混凝土强度等级降低一级后,钢筋应力增加 20%,板的挠度也有所增加。

3)从情况5看,采用低弹性模量的隔墙能够使隔墙对板的传力更均匀,拱效应降低,相应的墙两端下部的钢筋应力由178 MPa降低到了146 MPa,下降近20%。

4)从情况6、7下板的裂缝图可以看出,长向钢筋所在部位及其附近板上的裂缝不多,而短向钢筋部位及其附近板上的裂缝则较多。长向即使只配置1根钢筋,也未出现大量裂缝。而短向配置3根钢筋与配置1根相比,虽然板顶板底的裂缝情况总体上相差不是太大,但是在隔墙及其附近部位,配置3根钢筋时的裂缝明显较少。

4 结 语

笔者对一使用板中加强钢筋支承隔墙的钢筋混凝土剪力墙结构进行非线性有限元静力分析,得出以下结论:

1)由于隔墙自身的刚度,隔墙的起拱效应,造成在隔墙角部加强钢筋的应力比中间部位大得多,弹性模量越大的隔墙这种作用越明显。建议采用弹性模量小的隔墙,可使钢筋应力更均匀。

2)钢筋最大应力距其屈服点较远,虽然从承载能力的角度看使用不充分,但对抗裂缝有较好的作用。

3)加强钢筋最大的应力出现在短向钢筋中,相应位置裂缝也较多,而长向钢筋应力小得多,裂缝也相对少得多。说明短向加强钢筋比长向加强钢筋的作用更大,对纵向和横向隔墙起主要的支承作用。因此,短向钢筋的数量应足够(比如本例中的3 Φ 14的HPB335钢筋),长向钢筋可以适当少配置。

4)长短向加强钢筋相交处,短向钢筋的拉应力较大,需要足够的锚固长度来保证其受力。如果将其与长向钢筋点焊在一起,则长向钢筋对短向钢筋的锚固有帮助。

参考文献:

[1] 伍川生. 建筑结构楼板内力及隔墙下暗梁受力的有限元分析[D]. 重庆:重庆大学土木工程学院,2007.

- [2] 曹晖,林学鹏. 剪力墙下部地基梁的有限元分析[J]. 建筑结构,2006(10):24-25.
CAO HUI, LIN XUE-PENG. FEM analysis on beams under shear walls [J]. Building Structure, 2006(10): 24-25.
- [3] 郝文化. ANSYS土木工程应用实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [4] 盛太和. ANSYS有限元原理与工程应用实例大全[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [5] FALKNER H. Comparative study of plain and steel fiber reinforced concrete ground slabs [J]. Concrete International, 1995(1):45-51.
- [6] AJDUKIEWICZ A B. Advanced analytical and numerical modelling of composite slab-column joints [J]. Archives of Civil Engineering, 2000(1): 10-24.
- [7] MAHBOUB, KAMYAR C. Evaluation of temperature responses in concrete pavement [J]. Journal of Transportation Engineering, 2004(3):395-401.
- [8] DELHOMME F. Simulation of a block impacting a reinforced concrete slab with a finite element model and a mass-spring system [J]. Engineering Structures, 2007(11):2844-2852.
- [9] DRESTANI M Y. Structural response of concrete pavements under moving truck loads [J]. Journal of Transportation Engineering, 2007(12):670-676.
- [10] 中华人民共和国建设部. 建筑结构荷载规范 GB50009-2001[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [11] 中华人民共和国建设部. 混凝土结构设计规范 GB50010-2002 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [12] ANSYS INC. ANSYS theory reference [EB/OL]. (2007-01-20) [2007-08-07] http://www1.ansys.com/customer/content/documentation/90/ansys/a_thry90.pdf.
- [13] 吕西林,金国芳,吴晓涵,等. 钢筋混凝土结构非线性有限元理论与应用[M]. 上海:同济大学出版社,1997.
- [14] 江见鲸,陆新征,叶列平,等. 混凝土结构有限元分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [15] 中华人民共和国建设部. 砌体结构设计规范 GB50003-2001[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

(编辑 侯 湘)