

文章编号:1671-6833(2008)02-0027-04

柱支承筒芯内模现浇空心楼盖有限元分析

李海涛¹, 刘立新², 苏小卒¹, 于秋波^{2,3}, 汪小林²

(1. 同济大学 建筑工程系, 上海 200092; 2. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 3. 郑州大学 综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

摘要:建立了柱支承筒芯内模现浇钢筋混凝土空心楼盖和对比实心楼盖的有限元模型, 确定了单元类型和网格划分方案, 分别对柱支承筒芯内模现浇钢筋混凝土空心楼盖和对比实心楼盖运用 ANSYS 软件进行了有限元分析, 验证了有限元分析计算结果的正确性, 并将柱支承筒芯内模现浇钢筋混凝土空心楼盖结果(应力、挠度)与对比实心楼盖相应结果进行比较, 分析了柱支承筒芯内模现浇混凝土空心楼盖的变形特征, 内力分布规律, 可供设计人员参考。

关键词:柱支承; 筒芯内模; 空心楼盖; 有限元分析; ANSYS

中图分类号: TU 973

文献标识码: A

0 引言

柱支承筒芯内模现浇空心楼盖具有结构高度小、自重轻、刚度大、施工便捷、隔声隔热保温等优势, 应用前景广阔。目前应用中最大薄弱环节是柱支承现浇空心楼盖的内力分析, 楼盖空心部分及实腹(暗梁)的不同布置方式, 使其内力分布相差很大。由于实验研究的局限性, 虽可以从宏观上看到板的变形特征, 但难以从微观角度了解空心板内部应力应变分布状况。板的细部构造设计缺少研究依据, 空心楼盖的设计理论尚不完善。采用细密划分的有限单元体, 把空心楼盖作为一个空间体模型, 进行仿真分析, 可以最接近实际地反映出现浇空心楼盖的受力变形特征。笔者采用通用有限元软件 ANSYS 建立了柱支承筒芯内模现浇空心楼盖的有限元模型, 对空心楼盖和对比实心楼盖进行了有限元计算, 并对有限元计算结果进行验证和分析^[1-2]。

1 有限元模型的选取与建立

1.1 有限元模型的选取

笔者采用的有限元分析模型均为 $21.6\text{ m} \times 21.6\text{ m}$ 的柱支承现浇钢筋混凝土无梁楼盖, 柱网尺寸为 $7\,200\text{ mm} \times 7\,200\text{ mm}$, 即沿 y, z 方向各有 3 个相同的区格, x 为板厚方向, 如图 1 所示。楼盖为单层, 周边为自由边。柱截面尺寸均为 $600\text{ mm} \times 600\text{ mm}$, 空心楼盖板厚 $t = 300\text{ mm}$, 圆筒顺着 z

向布置。由圆形筒芯形成的孔道直径 D 为 200 mm , 筒芯长度为 900 mm , 横筒肋宽和顺筒肋宽均为 100 mm , 筒芯形成的孔中心间距 s 为 300 mm 。

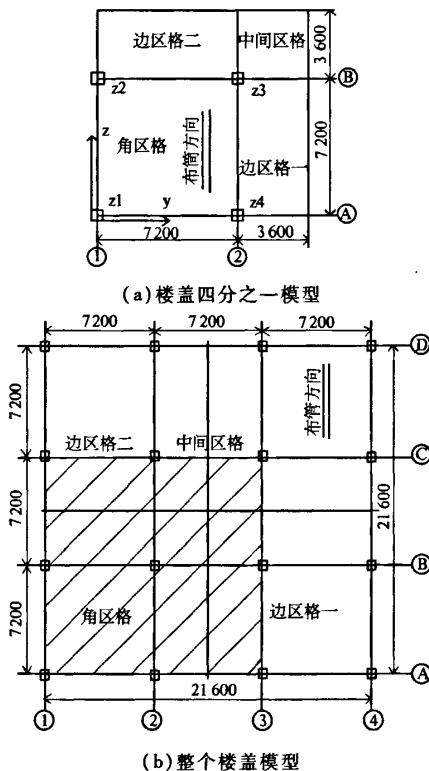


图 1 计算模型

Fig. 1 Calculation model

收稿日期:2008-03-21; 修订日期:2008-04-28

基金项目:中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会(CECS)研究资助项目。

作者简介:李海涛(1982-)男,河南临颍人,同济大学博士研究生,主要从事混凝土结构基本理论及应用工作。

1.2 有限元模型的建立^[3-4]

通过柱支承筒芯内模空心楼盖和对比实心楼盖的比较,进一步了解空心楼盖的工作性状.对比实心楼盖的特别之处在于单元网格划分与柱支承现浇空心楼盖相同,但在孔洞处用实心圆填充,其它尺寸均同柱支承现浇钢筋混凝土空心楼盖.两种楼盖的平面计算简图(由于对称性,均取四分之一模型)如图 1(a),空间有限元模型如图 2、图 3 所示.有限元建模采用的单元为 SOLID45(空间八节点等参单元),混凝土强度等级为 C30,泊松比为 0.2.为便于比较,空心楼盖和实心楼盖模型荷载均取 10 kN/m².

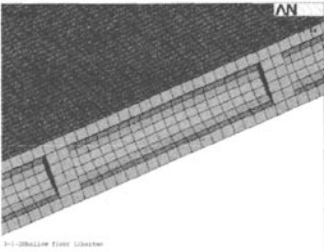


图 2 空心楼盖有限元模型图
Fig.2 Finite element model of the hollow floor

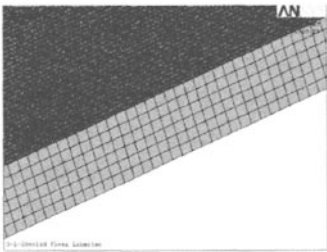


图 3 对比实心楼盖模型图
Fig.3 Finite element model of the solid floor

2 有限元计算结果精确性验证^[5-8]

通过与对比实心楼盖的比较来考察空心楼盖的受力性能.为了能做到在同一位置精确比较应力、挠度,实心楼盖采用的网格划分方法与空心楼盖类似,只是在空心处用实心圆或圆柱体填充.这样一来实心楼盖的有限元模型就成了众多不规则形状单元的集合体,其计算结果的精确性有待验证.用 ANSYS 分析弹性问题比较精确,而采用规则划分的有限单元分析弹性问题更加精确.笔者采用的验证方法:将实心楼盖不规则划分的有限元计算结果和规则划分(该种划分的单元全部是边长为 50 mm 的正立方体)的计算结果对比;将

有限元计算结果和实心板经典解进行比较,对比情况如表 1、表 2 所示.

表 1 对比实心楼盖两种划分的挠度对比

Tab.1 The deflections contrast of the corresponding solid floor

	区格挠度		误差 %
	不规则划分方 式的结果/mm	采用规则划分 的结果/mm	
角区格	2.708 0	2.701 1	0.26
边区格一	2.345 9	2.352 0	0.26
边区格二	2.343 3	2.349 9	0.28
中区格	1.916 4	1.920 5	0.21

由表 1 可知,对比实心楼盖的有限元计算结果的精度很高,与精确划分的计算结果误差只有 0.2%~0.3%,由此推断采用相同网格划分和单元类型的空心楼盖的有限元计算结果是可信的.另外将中区格有限元分析后,将通过数值计算方法由应力合成得来的弯矩计算结果与实心楼盖的经典解进行对比,对比情况如表 2 所示.

表 2 对比实心楼盖中区格中心的弯矩对比

Tab.2 The moment contrast of the center of the corresponding solid floor's central area

弯矩有限元解 /(N·m)·m ⁻¹	弯矩经典解 /(N·m)·m ⁻¹	误差 %
17 731.65	17 159.04	3.20

表中经典解的数值参考文献[5]由公式(1)求得

$$M_x = M_y = 0.0359ql^2 \quad (1)$$

由于该文献[5]中泊松比系数取 $\mu = 0.3$,而笔者有限元计算采用的参数 $\mu' = 0.2$,为了能够比较,需要将式中的弯矩进行转换,转换公式如下:

$$M_x' = \frac{1}{1-\mu^2}[(1-\mu\mu')M_x + (\mu' - \mu)M_y] \quad (2)$$

$$M_y' = \frac{1}{1-\mu^2}[(1-\mu\mu')M_y + (\mu' - \mu)M_x] \quad (3)$$

由于这里 $M_x = M_y$,上式可变为

$$M_x' = M_y' = \frac{1}{1-\mu^2}[(1-\mu\mu') + (\mu' - \mu)]M_x \quad (4)$$

即

$$M_x' = M_y' = 0.923 \times 0.0359p_0a^2 = 0.0331 \times 0.01 \times 7200^2 = 17159.04 \text{ (N} \cdot \text{m)/m} \quad (5)$$

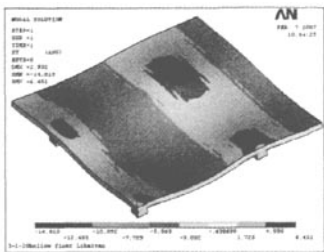
由表 2 再次可以看出,笔者采用的单元类型和划分方案的有限元计算精度是比较高的,板中心弯矩误差为 3.2%.弯矩值是通过数值计算方

法由应力合成得到的,因此对比结果不仅说明现浇钢筋混凝土空心楼盖的有限元计算结果精确。

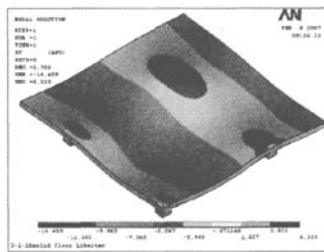
3 整体计算结果分析

3.1 应力分析

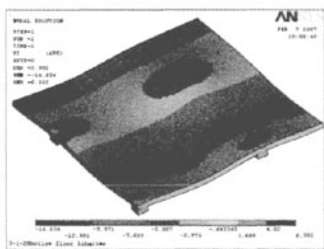
柱支承筒芯内模现浇空心楼盖和对比实心楼盖的径向、孔向应力云图如图 4 所示。



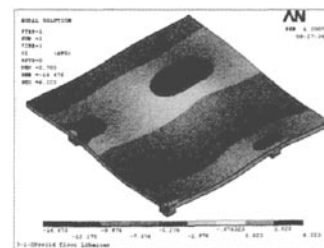
(a) 空心楼盖径向应力 S_r 云图



(b) 对比实心楼盖径向应力 S_r 云图



(c) 空心楼盖孔向应力 S_θ 云图



(d) 对比实心楼盖孔向应力 S_θ 云图

图 4 楼盖应力云图

Fig. 4 The stress Cloud charts of the floor system

从图 4 可以看出,两种楼盖在竖向荷载作用下的孔向和径向应力的分布形状很相似,板上表

面呈现出柱顶端部受拉、中间区域受压的状态;柱顶周围均呈现环状应力云图,顶部出现应力集中。两种颜色的交界处,实心楼盖的交线平滑,空心楼盖的交线呈锯齿状,证明了空心对楼盖应力分布的影响;另外,还可以看出径向应力云图中两种颜色的过渡更加不规则,断断续续,并且一种颜色里有夹杂着另一小块颜色,说明空心对径向应力的影响更加明显。同实心楼盖一样除了柱顶部出现应力集中外,空心楼盖其它部分的应力分布整体上呈常说的柱上板带和跨中板带的分布形式。

另外,根据应力值结果比较,无论是角区格、边区格一、还是中区格、边区格二,柱支承筒芯内模现浇空心楼盖柱端和柱轴线附近的同一位置处的应力均对比实心楼盖对应的应力大,说明由于筒芯的存在,削弱了楼板截面刚度,使得楼板内力分布发生了变化:空心区域的部分内力“转移”到了实心区域。但特别值得注意的是,在筒芯与实心暗梁交界处,由于空腔的影响,出现了应力集中,该位置处的应力值较大。对于这些应力较大的位置应采取相应的措施,比如减小筒芯直径,增加一定的配筋等防止局部产生裂缝。

3.2 挠度分析

柱支承筒芯内模现浇空心楼盖和对比实心楼盖的挠度云图如图 5、图 6 所示。

从图 5、图 6 的挠度云图可以看出,在竖向荷载作用下的柱支承筒芯内模现浇钢筋混凝土空心楼盖柱子顶部周围和区格中部的竖向位移分布均呈同心环状,各区格的最大竖向位移均在板的中部,这与对比实心楼盖相同;从挠度图还可以看出与对比实心楼盖一样,空心楼盖的最大挠度也出现在角区格的中部。柱支承筒芯内模现浇空心楼盖与对比实心楼盖各区格最大挠度值比较如表 3 所示。从表 3 可以看出,空心楼盖各区格的最大挠度值均对比实心楼盖各区格最大挠度值大 8% 左右,说明空心的存在减少了空心楼盖的抗弯刚度,从而增大了挠度。

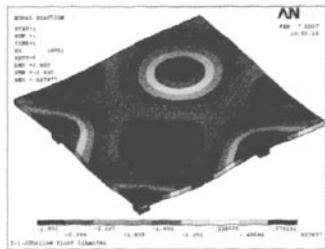


图 5 空心楼盖挠度云图

Fig. 5 Deflection cloud chart of the hollow floor system

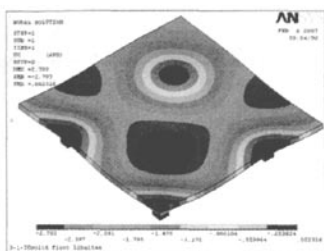


图6 对比实心楼盖挠度云图

Fig.6 Deflection cloud chart of the solid floor system

表3 两种楼盖各区格最大挠度值比较

Tab.3 The maximum deflection comparison

区域	空心楼盖 挠度/mm	实心楼盖 挠度/mm	空心楼盖/ 实心楼盖	相差百 分比/%
角区格	2.932	2.703	1.084 7	8.47
边区格一	2.531	2.346	1.078 8	7.88
边区格二	2.540	2.343	1.084 0	8.41
中区格	2.067	1.916	1.078 8	7.88

4 结束语

建立了柱支承筒芯内模现浇空心楼盖有限元模型,确定了单元类型和网格划分方案,对空心楼盖和对比实心楼盖进行了有限元分析,验证了有限元计算结果的正确性,并将两者进行比较,分析

表明柱支承筒芯内模现浇空心楼盖的内力和挠度分布大趋势类似于对比实心楼盖。但是,由于空心削弱了楼盖截面刚度,使得空心区域的部分内力“转移”到了实心区域,也使空心楼盖的挠度增大。另外,由于空心的存在,使得筒芯与实心暗梁处、筒芯上下较薄位置处的应力增大,建议在设计时对这些位置加强。

参考文献:

- [1] CECS 175:2004, 现浇混凝土空心楼盖结构技术规程[S].
- [2] 刘立新,李海涛,于秋波,等.边支承现浇空心楼盖的受力分析与设计[J].郑州大学学报:工学版,2007,28(1):64-67.
- [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] 龚曙光,谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [5] SZILAD R. 板的理论和分析[M].北京:中国铁道出版社,1984.
- [6] 莫令文.现浇混凝土空心楼盖有限元分析和实验研究[D].长沙:中南大学硕士学位论文,2003,5.
- [7] 单海军,曹朗.大跨度新型组合空心楼盖结构受力性能研究[J].山西建筑,2005,31(21):77-78.
- [8] 童丽萍,李英源.郑州国际会展中心铸钢节点 S211-1 的受力特性分析[J].郑州大学学报:理学版,2005,37(1):82-86.

Finite Element Model Establishment and Analysis of the Column - supported Tube Filler Cast - in - situ Hollow Floor

LI Hai - tao¹, LIU Li - xin², SU Xiao - zu¹, YU Qiu - bo^{2,3}, WANG Xiao - lin²

(1. Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Zhengzhou University Multi - functional Design and Research Academy, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This paper sets up the finite element model of the column - supported tube filler cast - in - situ hollow floor and the corresponding solid floor, and determines the element type and mesh partition scheme. Both the hollow floor and the corresponding solid floor are analyzed by using finite element method in ANSYS software. Then the correctness of the finite element results is verified. The results (the stress, deflection) of the hollow floor and those of the corresponding solid floor are compared with each other accordingly. The deformation characteristic of the column - supported cast - in - situ hollow floor with tube fillers is analyzed, and so is the internal mechanics distribution law of the hollow floor.

Key words: column - supported, tube filler, hollow floor, finite element analysis, ANSYS