

文章编号:1673-2049(2005)04-0057-04

现浇混凝土空心楼盖受力特性研究

周 庆, 邹银生

(湖南大学 结构工程研究所, 湖南 长沙 410082)

摘 要:为了研究现浇混凝土空心楼盖结构的受力特性,应用通用有限元分析软件 ANSYS,分析了该类型楼盖结构与实心板楼盖结构的受力差异,得出了空心楼盖结构的应力分布特点;对现浇空心楼盖结构和实心楼盖结构的应力分布图和位移分布图进行了比较,总结了现浇空心楼盖结构的内力分布规律;在此基础上,进一步分析了现浇空心楼盖的柱端抗冲切特性。结果表明:现浇空心楼盖的柱端抗冲切承载力与柱边裂缝穿过空心体的数量有密切联系,分析结果将对现浇空心楼盖结构设计方法的进一步改进提供一定的理论依据。

关键词:现浇混凝土;空心楼盖;受力特性;内力分布规律;抗冲切特性

中图分类号:TU312

文献标志码:A

Research on force resistance properties of cast-in-situ hollow concrete floor

ZHOU Qing, ZOU Yin-sheng

(Institute of Structural Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In order to study the force resistance properties of cast-in-situ hollow concrete floor structure, the current FEM software, ANSYS, was adopted to analyze the difference of force resistance between this floor structure and solid slab. Some stress distribution traits of this floor structure were made, and the differences of stress and displacement distribution figures between these slabs were compared so that some laws of internal force distribution of the hollow floor system were summarized. Based on these results, the characteristic of punching shear resistance was further analyzed. The results show that the crack pattern is taken into consideration; it can be realized that the force of the punching shear resistance must be related closely to the number of hollows crossing the punching cracks. These analyzed conclusions provide theoretical reference for the improvement of design method of this floor structure.

Key words: cast-in-situ concrete; hollow floor; force resistance property; law of internal force distribution; characteristic of punching shear resistance

0 引 言

现浇混凝土空心楼盖结构是指按一定规则放置埋入式内膜后,经现场浇筑混凝土而在楼板中形成

空腔的楼盖结构。大量的工程实践和试验研究成果表明^[1~2];空心楼盖结构的受力特点近似于实心楼盖结构,且比实心楼盖更适用于大跨度($l \geq 7.2$ m)楼盖和转换层等复杂结构。而对于现浇混凝土空心

收稿日期:2005-08-16

基金项目:湖南省建设厅重点项目(2004A-16)

作者简介:周 庆(1980-),男,湖南衡阳人,工学硕士研究生. E-mail:zhouqing_zhou@msn.com

楼盖结构的受力和变形等力学性能的研究仍须进一步深入。为此,笔者采用通用有限元分析软件 ANSYS 对该类型楼盖的内力和位移分布特点进行较深入的分析,总结其内力分布规律;同时,进一步分析空心楼盖柱端的抗冲切特性。

1 实心板与现浇空心楼盖受力差异

通过具体算例分析实心板楼盖与现浇空心楼盖结构的受力差异。算例中采用柱支承两跨连续板式楼盖,柱网尺寸为 10 m×10 m,柱截面尺寸均为 0.6 m×0.6 m,板厚度 t 为 0.4 m。分别选取实心板、薄壁箱体板及薄壁筒芯板 3 种楼盖结构进行比较分析。结构平面及 3 种楼盖结构的截面尺寸如图 1~4 所示。为便于分析,各板面统一作用有均布荷载 10 kPa,且不计板自重。

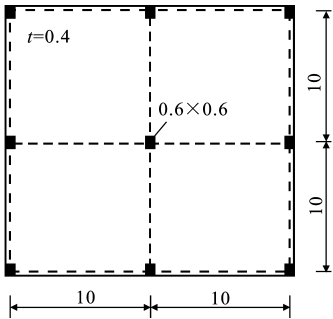


图 1 结构平面尺寸/mm

Fig. 1 Dimension of structure plan

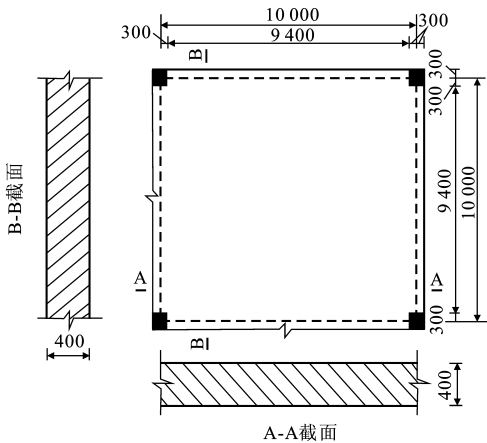


图 2 实心板结构尺寸/mm

Fig. 2 Dimension of structure of solid slab

应用通用有限元分析软件 ANSYS 对以上 3 种楼盖结构进行实体单元分析。为简化计算,考虑结构的对称性,取右上 1/4 部分第一跨进行计算。计算得到了这 3 种楼盖结构的受力和变形分布情况。图 5~7 分别为以上 3 种楼盖结构在 $0 \leq \sigma \leq 10$ MPa 范围内的应力等值线分布。

通过分析以上 3 种楼盖结构的应力分布,可得它们的受力共同点:由于板的跨度大,应力值均向柱端集中,在柱周围形成明显的环状内力集中区域;而

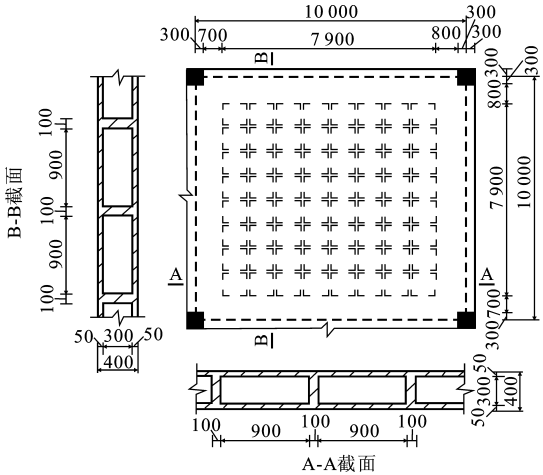


图 3 薄壁箱体板结构尺寸/mm

Fig. 3 Dimension of structure of box-filler slab

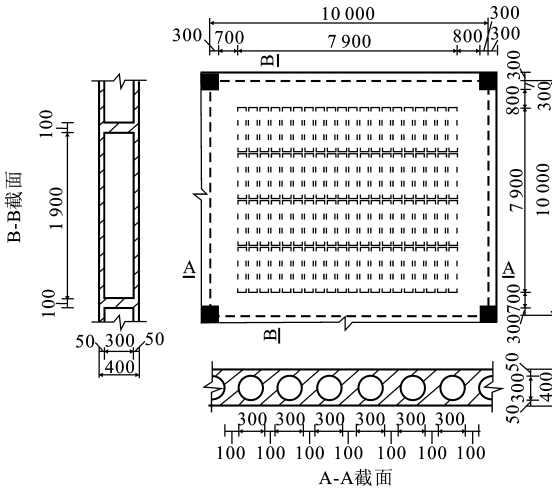


图 4 薄壁筒芯板结构尺寸/mm

Fig. 4 Dimension of structure of tube-filler slab

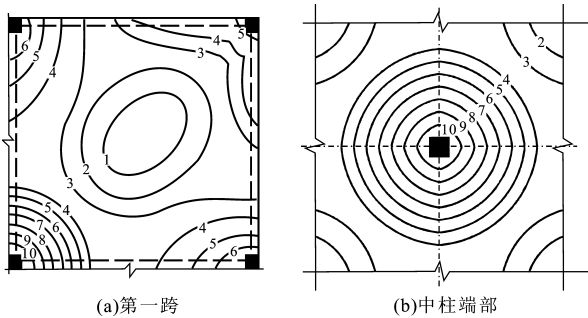


图 5 实心板的应力等值线分布/MPa

Fig. 5 Stress contour line distribution of solid slab

板跨中区域的应力分布比较均匀,呈现出薄膜的性状。从图 5~7 中还可以看出,与等厚度实心板楼盖相比,空心板(薄壁箱体板、薄壁筒芯板)楼盖具有的应力分布特点为:

(1)空心楼盖柱端与板跨中区域应力分布趋势差别较大,实心板楼盖应力变化较空心楼盖平缓。

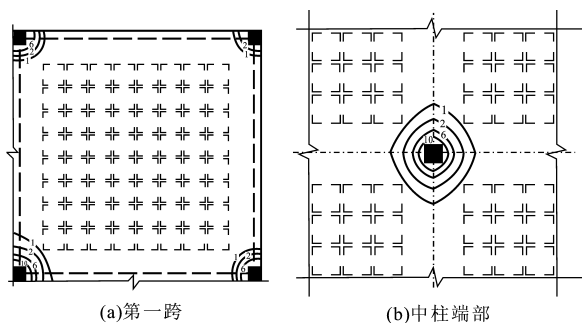


图6 薄壁箱体板的应力等值线分布/MPa

Fig. 6 Stress contour line distribution of box-filler slab

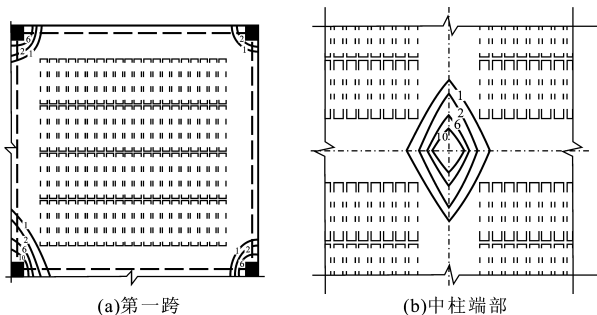


图7 薄壁筒芯板的应力等值线分布/MPa

Fig. 7 Stress contour line distribution of tube-filler slab

(2)由于空心体的存在,空心板应力值显著向柱端周边实心板区集中,其应力值远大于内部空心板区的应力值,其中薄壁箱体板比薄壁筒芯板更显著。

(3)在跨中区域,空心板板底正应力值相对较小,且应力分布趋于均匀,即跨中板带的应力值与柱间实心板带边的应力值较为接近。

上述有关空心楼盖的特点,薄壁箱体板表现比筒芯板更明显。空心楼盖由刚度相对较大的柱间实心板带和刚度相对较小的跨中范围内空心板区域组成,上述特点与楼盖内两部分楼板的刚度相对大小相关,如两部分刚度差别大,则特点更突出。

2 现浇空心楼盖内力分布规律

对第1节中3种楼盖结构进行计算,得到的竖向位移等值线分布如图8所示。从图8中可以看出:各种楼盖位移变化趋势,在支座处附近位移很小,越靠近板跨中位置位移越大,各板的挠度都出现在跨中区域。各板的最大挠度分别为:实心板1.542 mm、薄壁箱体板1.088 mm、薄壁筒芯板1.691 mm。以上数据说明:由于空心体的存在,空心板跨中挠度相对较小。这充分反映了空心板的变形主要是由内力引起的。

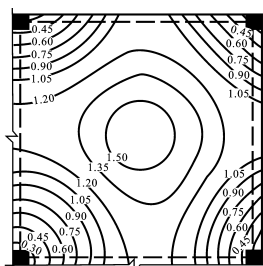
通过对3种楼盖结构进行的内力和变形比较分

析(图5~8),即可总结出空心楼盖结构的内力分布规律为:

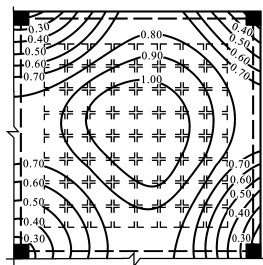
(1)薄壁箱体空心板的竖向位移分布与实心板的分布规律很相似。这表明了虽然现浇空心板结构的实心板带区和空心板区之间有刚度差异,但其总体上仍呈现板的受力和变形特性。

(2)对于薄壁筒芯板,两个方向单位抗弯、抗剪刚度均不相等。柱上板带的挠度,横筒方向大于顺筒方向,而横向与顺向截面面积和形状都相等。原因在于参与实心板带抗弯工作的板两个方向的抗弯刚度不同,前者为空心板参与工作,后者为实心密肋板参与工作,空心板方向单位抗弯刚度小于密肋板方向,即薄壁筒芯板结构为构造上的正交异性板^[3]。

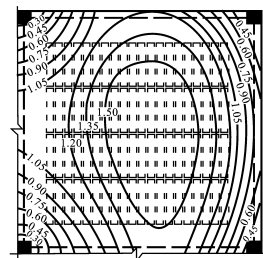
(3)现浇空心板负弯矩值变化幅度大。这是由框架梁变形造成的,即框架梁在柱附近垂直位移很小,则板负弯矩值很大;梁中部垂直变形大,起卸载作用,板的负弯矩自然迅速下降,这是由空心板支承条件决定的。即使是与板等高的暗梁板柱结构,这种特性仍然存在。



(a) 实心板



(b) 薄壁箱体板



(c) 薄壁筒芯板

图8 竖向位移等值线分布/mm

Fig. 8 Vertical displacement contour line distribution

3 现浇空心楼盖柱端抗冲切特性

现浇空心楼盖主要运用于大跨度楼板结构,从图6(b)中的中柱端部内力集中区的应力分布云可以看出:现浇空心板的柱端抗冲切承载力在进行结构设计时起控制作用。现对第1节中算例的实心板和薄壁箱体空心板,均取中柱端1/8对称结构,用有限元软件ANSYS进行柱端抗冲切能力的模拟。

为了更好地权衡计算精度与计算时间的矛盾,选用以下单元类型和材料模型进行模拟:

(1)单元类型采用SOLID65混凝土实体单元及钢筋弥散于混凝土单元中的整体式模型。

(2) 选用 VON-MISES 屈服准则中多线性随动强化的塑性材料模型。使用混凝土自带的 W-W 破坏准则且关闭压碎检查。混凝土应力—应变曲线上升段采用 SAENZ 简化计算式, 见图 9 和式(1)^[4]

$$\sigma = \frac{E_c \epsilon}{1 + (E_c/E_s - 2)\epsilon/\epsilon_o + (\epsilon/\epsilon_o)^2} \quad (1)$$

式中^[5]: $E_c = 4\,730 f_c^{0.5}$; $E_s = f_c/\epsilon_o$, $\epsilon_o = 0.002$ 。

(3) 混凝土的抗拉强度^[5]

$$f_{sp} = 0.62 f_c^{0.5} \quad (2)$$

(4) 混凝土泊松比采用平均值

$$\nu = 0.20 \quad (3)$$

(5) 钢筋采用双线性等向强化应力—应变曲线, 如图 10 所示。

结构的材料属性取: 混凝土的抗压强度设计值 $f_c = 31.3$ MPa, 钢筋的抗压强度设计值 $f_y = 398$ MPa, X、Y 方向的配筋率均为 3%, 楼面均布荷载值 $q = 50$ kPa。材料非线性模拟的柱端截面裂缝分布, 如图 11 所示。

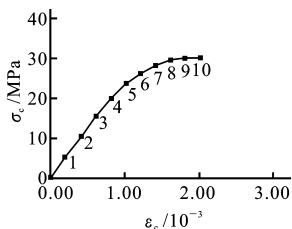


图 9 σ_c - ϵ_c 关系

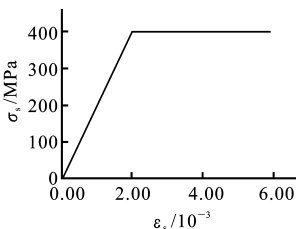


图 10 σ_s - ϵ_s 关系

Fig. 9 Relation of σ_c and ϵ_c Fig. 10 Relation of σ_s and ϵ_s

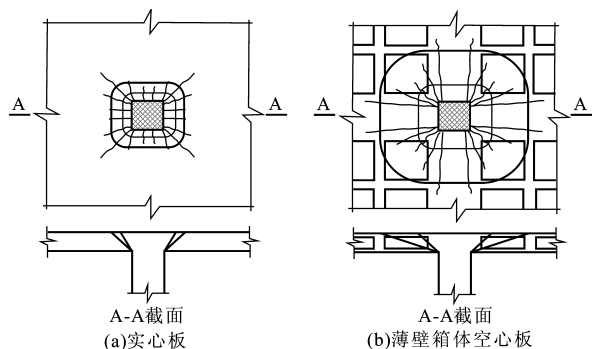


图 11 实心板与空心板冲切裂缝分布比较

Fig. 11 Comparison of punching shear cracks distribution between solid slab and box-filler slab

比较实心板与空心板冲切破坏裂缝分布可知:

(1) 空心板由于空心体的存在, 开裂范围比实心板更宽, 裂缝分布更分散, 且裂缝主要向周边实心板带区发展。

(2) 空心板的冲切破坏环距柱边比实心板更远。

空心板冲切破坏斜截面与水平面的夹角分布在 $30^\circ \sim 45^\circ$ 之间。

(3) 在相同荷载作用下, 空心板结构破坏更加严重, 抗冲切能力低于相同厚度的实心板。根据裂缝分布特性可知, 空心板的抗冲切承载力与柱边裂缝穿过空心体的数量有密切联系。

4 结 语

(1) 空心楼盖在柱端截面周边呈现内力集中区, 并且由于空心体的存在, 空心楼盖结构的内力集中更加显著。这说明柱端抗冲切承载力在进行结构设计时起控制作用。

(2) 总结了空心楼盖的内力分布规律: ①呈现板的受力和变形特性; ②构造上为正交异性板; ③内力变化幅度很大。

(3) 进一步用 ANSYS 进行柱端抗冲切能力的材料非线性模拟, 得出了冲切裂缝分布图。根据裂缝分布特性可知: 空心板的抗冲切承载力与柱边裂缝穿过空心体的数量有密切联系。建议在进行结构设计时, 考虑空心体对柱端抗冲切承载力的影响。

(4) 本文中的分析结论能为现浇混凝土空心楼盖设计方法的探讨提供一定的理论依据。今后将进一步在不同材料、不同截面类型和不同几何特性等方面进行结构设计优化分析。

参考文献:

- [1] 周 庆, 邹银生. 对薄壁箱体现浇混凝土空腹板楼盖施工和内力分析方法的探讨[A]. 全国现浇混凝土空心楼盖结构技术交流会论文集[C]. 北京: 中国计划出版社, 2005. 191—194.
- [2] 谢靖中. 空心板楼盖受力特性及受力岛设计理论[A]. 全国现浇混凝土空心楼盖结构技术交流会论文集[C]. 北京: 中国计划出版社, 2005. 139—151.
- [3] 倪江波, 马克俭, 张华刚. 现浇轻质填芯钢筋混凝土板柱结构试验研究[J]. 建筑结构学报, 2003, 24(2): 70—75.
- [4] 吕西林, 金国芳, 吴晓涵. 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, 1999.
- [5] RASHID M A, MANSUR M A, PARAMASIVAM P. Correlations between mechanical properties of high-strength concrete[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2002, 14(3): 230—238.