

筏板基础在自贡地区高层建筑设计中的应用研究

赵蕴林

(四川理工学院建筑工程学院, 四川 自贡 643000)

摘要: 文章结合工程设计经验对自贡地区的高层建筑在选用天然筏板基础的设计过程中, 对高层建筑基础设计中涉及到的重要的地基沉降计算、结构设计和地下水等有关问题的处理进行了具体分析, 对在一般高层建筑中采用天然筏板基础的实用性和可行性从设计和施工两个方面进行了相关的工程探讨。

关键词: 桩基础; 天然筏板基础; 高层建筑设计; 沉降计算; 地下水

中图分类号: TU 471.15

文献标识码: A

引言

自贡市地处川南丘陵地区, 系川中南河谷丘陵地貌。地形以中丘和低丘为主。其特点是地势西北高, 东南低, 地形以丘陵为主, 沟谷众多, 地表切割破碎。

由于特定的地质历史和地理环境, 按照地基土的岩性及压缩性, 自贡地区地层大体上可分成两种类型: (1) 第四系土: 有薄层耕土、填土堆积; 残坡积成因, 含粉砂质较重, 可塑—硬塑状; (2) 基岩: 侏罗系中统沙溪庙组泥岩、夹泥质砂岩和砂岩层, 分为强风化和中风化两层, 一般为中厚层块状, 强风化岩层中节理裂隙较发育。

自贡地区高层建筑常用的基础型式为灌注桩(多为人工挖孔灌注桩), 它以一定厚度的中风化基岩为桩基持力层, 但要嵌入有一定厚度的岩层中, 这样, 不仅使桩身较长, 施工困难, 质量难以保证, 工期拖长, 工程造价提高, 而且挖桩成孔(井点法降低地下水位)还常常对周边已有的建筑物和地下管线造成影响。

其实除了采用桩基形式外, 在基岩埋藏较深的填土场地, 我们还可以考虑采用筏板基础。过去由于筏板基础底板面积大, 虽然计算方法较多, 但至今还没有一种既简化又接近实际的计算方法解决沉降计算等有关问题, 在目前的设计中常以构造为主, 计算为辅, 相关的规范计算也很少, 在结构设计优化等问题上还有待深化。所积累的工程经验, 特别是在处理地基沉降、抗震设计等方面, 相比于桩基础尤显不足, 故而在实际的基础设

计中, 工程师多偏向于采用桩基础以回避这类问题。而我们根据高层建筑的特点和功能要求, 对筏板基础选型和设计进行了多年的研究和分析, 积累了一些经验。本文以实际参与及设计的工程为参考, 对筏板基础的选型和计算方法进行有关的工程技术分析。

1 筏板基础的基础埋深及承载力的确定

一般市区由于用地紧张, 常需设置车库、人防工程和设备用房等地下室用房, 并根据它的使用功能要求确定地下室的层数和层数, 这样就基本确定了基础底板的埋置深度。然后, 根据该深度结合建筑场地的岩土工程特点进行基础选型, 研究选择天然筏板基础的可能性。由于天然筏板基础属于补偿性基础, 地基承载力的确定除了按照有关规范通过深度和宽度的修正得到承载力设计值外, 则是按照补偿性基础分析地基承载力确定^[1]。

例如: 某栋地上 26 层、地下 2 层(底板埋深 10m)的高层建筑, 由于将原地面下 10m 厚的原土挖去建造地下室, 则卸土土压力达 180kpa 约相当于 11 层楼的荷载重量; 如果地下水位为地面下 2m, 则水的浮托力为 80kpa 约相当于 5 层楼的荷载重量, 因此实际需要的地基承载力为 12 层楼的荷载。即当地基承载力标准值 $f \geq 220\text{kpa}$ 时就能满足设计要求, 如果筏基底板适当向外挑出, 则设计会有更大的安全可靠度。

2 天然筏板基础的沉降计算

地基的验算包括承载力和变形两方面,尤其对于高层或超高层建筑,变形往往起着决定性的控制作用。就目前的理论水平来看,对地基变形的精确计算还比较困难,计算结果往往误差较大,使工程设计人员难以把握,大量地采用桩基础,使基础设计过于保守,造价提高,造成浪费。

2.1 地基沉降计算的误差理论分析

目前的地基变形计算所采用的各向同性均质线性变形体计算模型,用分层总和法计算出的自由沉降量往往同实测的地基变形量不同,这是受多种因素的影响造成的。

(1) 这种理论假定土体的变形遵循虎克定律,土体不产生塑性变形,这与土体的实际应力—应变状态有较大差别。

(2) 计算中采用的参数是压缩模量 E_{sj} 而这个数值是由室内侧限固结试验测得的,试验条件与基础底面压缩层不同深度处的实际侧限条件差别较大。

(3) 地基沉降计算公式: $s = \Psi_s \sum (\Delta P_{si}/E_{si}) \times H_i^{[1]}$, 所计算出的沉降量与基础尺寸和分层厚度有关。而根据大量实测沉降量数值表明: 建筑物的沉降量还受到上部结构与基础刚度的调整。由于高层建筑自身的特点导致按该公式计算出的沉降量与实际情况存在较大出入。

① 高层建筑如果采用箱型或筏板基础,荷载大、基础宽,所需计算的地基压缩层深度很大,地基不能像一般多层建筑那样,认为是均一持力层。

② 由于基坑开挖较深,卸土较厚往往引起地基的回弹变形而使地基微量隆起。在实际施工中由于其回弹再压缩模量一般较难测定和计算,工程经验上取回弹量约为公式计算变形量 0.1—0.3, 因此对于高层建筑,在计算地基沉降变形中,地基回弹再压缩变形不但不应忽略,还应予以重视。

③ 高层建筑箱型与筏板基础的计算与一般多层建筑的基础有所不同,高层建筑在做成补偿基础情况下,公式将附加压力视为很小或等于零。但实际上由于基坑面积大,基坑开挖造成坑底回弹,即回弹再压缩变形。为了使沉降计算与实际变形接近,采用总荷载作为地基沉降计算压力比用附加压力 P_0 计算更趋合理,且对大基础是适宜的。

2.2 施工中尽量减少基坑底部回弹量的措施分析

为用理论法计算出的沉降量与同实测的地基变形量最大程度的接近,则要尽量减少应力的解除,尽量减少基坑底部回弹量。经过我们多年对高层建筑基础的

设计和施工经验的逐步积累,在实际的基坑开挖过程中,可以设法用建筑物的重量不断地替换被挖除的土体重量,以保持地基内的应力状态不变。可以采用两阶段基坑开挖方法^[2]。

第一阶段,基坑只开挖到预定总深度的一半左右,这样可以减少坑底回弹,同时也有利于坑底土体的稳定。为了进一步减少应力解除,还可以在基坑内布置深井抽水,以大幅度降低地下水位,使土体自重应力迅速增加。

第二阶段,采用重量逐步替换法。先按照基础隔墙的位置逐个开挖基槽,到达基底标高后,在基槽内构筑钢筋混凝土隔墙,让墙体的重量及时代替挖出的土重。接着建造一部分上部结构,然后次第挖去墙间的土,用混凝土浇捣底板,形成封闭空格后,立即充水加压。

最后,在基坑开挖时,还要注意避免长时间浸水,基坑开挖后应及时修建基础,这是因为应力的解除会导致土中的粘土颗粒表面的结合水膜增厚,使土体体积膨胀、坑底隆起,反而会加剧基础的沉降^[3]。

2.3 建筑物沉降实测结果分析

在研究建筑物荷载的水平分布规律时发现: 对于筏板基础,可将筏板划分为许多小单元,如果不考虑各小单元之间的相互影响,单位面积承受的荷载重量(基底应力曲线)与基础的纵向挠曲曲线的形状相吻合,即呈“U”状。这说明建筑物四周各点沉降量受到其它各点荷载的影响较小,中部各点沉降量受到其它各点荷载的影响较大;若将基础设计成整片筏板基础,势必造成在相同的地基承载力下,中部沉降量大,而四周沉降量较小,基底土变形不相协调。

在对 12 栋超过 18 层的高层建筑的沉降观测的试验中,我们发现^[4]: 刚性筏板在试验荷载下主要是整体沉降,挠曲变形极小,最大的也未超过 3‰,而有限刚度筏板基础则除了整体沉降外还产生挠曲变形,筏板刚度不同,其挠曲程度也不同。在筏板厚度相同的情况下,随着长×宽的增加,筏板的刚度随之降低。

3 天然筏板基础型式设计

基于上述分析,可以在设计中选取“板式筏基+独立柱基”相结合的基础形式,即中部(电梯井等剪力墙集中处)用筏基,四周柱基础采用独立基础或联合基础。这样使筏板的刚度增大,不仅降低沉降变形的挠曲度,提高筏板抗冲切能力,同时,降低了板中钢筋应力,减少筏基的配筋量。为协调各部分的变形,使其趋于一致,还可通过变形验算调整独立柱基的面积。

实际工程中曾经比较“整片筏基”与“板式筏基+独立柱基”的工程造价,在所积累的部分案例中可以看出:

两种不同基础形式, 后者较前者节省约 30% - 40% 的费用, 经济效益显著。

但是如果遭遇地基地层分布不均匀而导致上部结构荷载在筏板基础上分布不均时, 则会引起筏板基础各部分的差异沉降较大, 此时则可以在设计和施工中考虑采用以下处理措施以妥善解决这一不均匀沉降问题。

(1) 若出露土层属地质特性较差的情况, 则将其挖出一部分, 换填低强度等级的素混凝土, 以改变和调整地基的不均匀变形。

(2) 重新调整上部结构荷载, 以减小基底压力差。

(3) 调整筏板基础形状和面积, 考虑适当设置悬臂板, 均衡和降低基底压力。

(4) 大力加强底板的刚度和强度, 在大跨度柱间设置加强板带或暗梁等。

4 筏板基础的结构设计

筏板基础的主要结构形式有平板式筏基和肋梁式筏基, 包括等厚度或变厚度底板和纵横向肋梁。一般情况下宜将基础肋梁置于底板上面, 如果地基不均匀或有使用要求时, 可将肋梁置于板下, 框架柱位于肋梁交点处。在具体筏基设计时应着重考虑如下问题:

(1) 使上部结构的荷载合力中心与筏基形心相重合, 从而确定底板的形状和尺寸。当需要将底板设计成悬挑板时, 需综合考虑上述多方因素以减小基础端部基底反力。

(2) 底板厚度由抗冲切和抗剪强度验算两方面来确定。决定板厚的关键因素是冲切, 应对筏基进行详细的冲切验算。

(3) 无肋梁筏板基础配筋可近似按无梁楼盖按倒楼盖法的计算方法进行; 对肋梁式筏基, 当肋梁高度比板厚大的多时, 可分别计算底板和肋梁的配筋, 即底板以肋梁为固定支座按双向板计算跨中和支座弯矩, 并适当调整板跨中和支座的配筋。

(4) 在比较均匀的地基上, 当上部结构刚度较好时, 可不考虑整体弯曲, 但在端部一、二开间内应将地基反力增大 10% - 20%, 按上下均匀配筋^[5]。

(5) 构造配筋要求: 筏板受力筋应满足规范中 0.15% 的配筋率要求, 悬挑板角处应设置放射状附加钢筋等。工程师在这方面往往配置受力钢筋有余, 构造钢筋却不足。

5 筏板基础遭遇地下水问题的分析

由于高层建筑基础埋置较深, 经常会遇到地下水的情况, 而地下水会对基础产生我们所担心的浮托力。对于高层建筑基础的浮托力, 我们该如何处理和解决这一

问题, 是否需要我们对其进行相关计算并设置抗浮锚杆, 在这里作如下分析和讨论。

(1) 施工过程中浮托力的产生是由于基坑内积水所致。浮托力的大小与地下室的体积和基坑内积水高度有关。因此, 只要能在地下室施工过程中有序排水或限制水位, 在基础底板底以下就不会产生浮托力。

(2) 地下室上浮是因为地下室结构及上部结构的荷载重量不足以克服地下水的浮力, 当筏板基础底板上的结构重量大于实际上浮力后, 整个基础结构就能稳定。因此在地下室和地面上相应有限几层的结构完成后, 就可以克服地下水的上浮力。实际上在大多数情况下, 都可以满足 $K = G_k / F_w \geq 1.05$ 式中, G_k —地下室及已建上部结构自重; F_w —地下水对地下室的浮托力。当上式不能得到满足时, 才考虑采用如下措施来提高地下室的抗浮稳定性:

①尽快施工上部结构, 增大压重;

②在箱格内充水、在地下室底板上堆砂石等重物或在顶板上覆土, 作为平衡浮力的临时措施;

③将底板沿地下室外墙向外延伸, 利用其上的填土压力来平衡浮力;

④在底板下设置抗拔桩或者抗拔锚杆。当基坑周围有支护桩时, 可将支护桩作为抗拔桩来加以利用。

6 案例分析

泰丰·翰林尚都某高层建筑, 地面以上 12 层, 层高 3.3m, 总高 39.6m, 地基从上到下分布为杂填土、粉质粘土、粘土、基岩, 其层厚分别为 9m、7m 和 4m, 筏板厚 800mm, 该基础长 40m, 宽 24m, 基础底面标高为 -4.2m, 采用 C20 混凝土, 纵向受力钢筋为 II 级。

根据上部荷载和地基承载力特征值我们进行了地基承载力验算, 基础的总沉降计算, 基础横向整体倾斜计算及相应的结构配筋计算。由于篇幅原因, 计算过程在此从略。基础设计详见图 1-图 3 图中尺寸单位为 m。

在这个建筑的基础中我们分别采用了一柱一桩的桩基础和底板外挑的筏板基础两种形式, 进行了相应的技术经济比较, 并最终采用了筏板基础。见表 1:

表 1 桩基础与筏板基础比较

	桩基础	筏板基础
工程量	60根, 平均长度 19.2 米, 桩径 800mm	板厚 800mm, 长 × 宽 = 50m × 30m
计算沉降量	56.54mm	78.83mm
基础造价	128.5 万	86.4 万

注: 桩长包括基地以下土层至中风化岩石桩端嵌固端为止的整个长度。

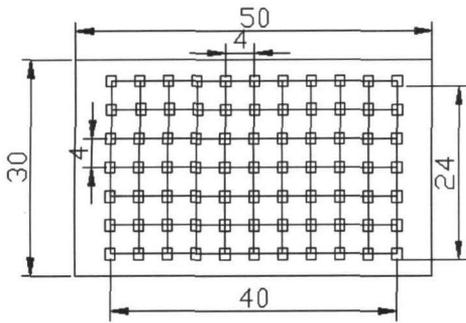


图1 筏板基础平面布置图

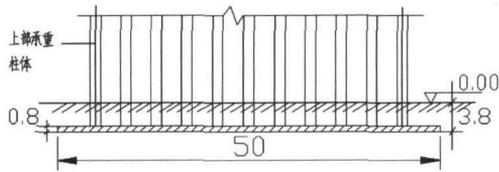


图2 筏板基础纵剖面示意图

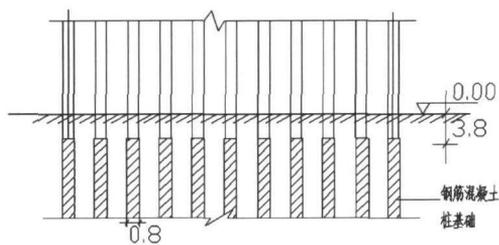


图3 一柱一桩基础纵剖面示意图

通过相应比较可以看出,筏板基础在工程量、造价等方面都明显优于传统桩基础,另外如果基岩埋藏很深的情况下,采用桩基础还可能面临由于桩体过长而导致桩体完整性得不到有效的保证,从而可能出现断桩的情

况,除此而外筏板基础还很好的解决了我们所担心的沉降不均匀,整体倾覆稳定等问题。该建筑自竣工以来至今,已有3年之久,而在建筑两个对角线角点处观测到的沉降差值只有32mm,已基本达到稳定,其倾斜值为0.0008远小于规范允许值0.003的限制。说明通过合理的设计布置,筏板基础是可以较好的解决大沉降和整体稳定性问题。

7 结束语

由上述的整个分析可以看出,在高层建筑基础选型和设计中,结构工程师应认真研究场地岩土性质和上部结构特点,通过综合技术经济比较确定,并不是一味地选用桩基。在自贡地区特定的地质历史和地理环境中,按照地基土的岩性及压缩性情况,特别是在深厚填土地区,经过认真的分析思考和技术经济比较,筏基也存在它的适用性,在良好的设计和施工情况下可以妥善解决高层建筑的大沉降问题,节约造价等方面具有其自身不可替代的优越性。

参考文献:

- [1] GB50007-2002 建筑地基基础设计规范[S].
- [2] 莫海鸿. 基础工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 高大钊. 土力学与基础工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [4] 杨志勇. 工民建专业毕业设计手册[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1999.
- [5] 彭安宁. 筏板基础力学性状的试验研究[J]. 建筑结构学报, 1999, 20(6): 71-74.

Applying Research on Designing of Raft Foundation in High Rise's Foundation

ZHAO Yun-lin

(School of Architecture Engineering Sichuan University of Science & Engineering Zigong 643000 China)

Abstract The paper discussed the important settlement calculation such as structure design, ground water in the raft foundation's design of high rise in Zigong. Then it analyzed the practice of the design and construction in the raft foundation of high rises.

Key words pile foundation; natural raft foundation; the design of high rise; settlement calculation; ground water