

带外扩地下室结构的基础优化

杜兴华¹ 曹健¹ 陈荣斌²

(1. 西北综合勘察设计院上海分院, 上海 200438; 2. 上海申元岩土工程有限公司, 上海 200023)

【摘要】 在沿海高地下水位地区, 地下水浮力对建筑物作用往往比较强, 因而这类地区建筑基础抗浮设计成为工程建设中的关键问题。在地下工程中通常采用设置抗拔桩来抵消地下水浮力对建筑物的不利影响。然而, 实践证明并非一定要采用抗拔桩才能抵消地下水浮力的作用, 应针对具体建设条件, 采用更加经济合理的基础形式。结合上海地区某工程实例, 对基础设计安全性和经济合理性进行探讨分析, 并提出优化基础方案, 以期对同类其他工程的基础设计有一定的借鉴作用。

【关键词】 抗拔桩; 天然地基; 底板外伸抗浮

【中图分类号】 TU 470.3

Foundation Design Optimization to Frame Structure With Spread Basement

Du Xinghua¹ Cao Jian¹ Chen Rongbin²

(1. Shanghai Sub-institute of North-west Comprehensive Institute of Investigation and Design, Shanghai 200438;

2. shanghai shenyuan Geotechnical Engineering Co. Ltd, Shanghai 200023, China)

【Abstract】 Floatage force often occurs and produce strong effect on building in coastal area or other high ground-water level area. Therefore, foundation anti-floatage design becomes a key problem of construction in these areas. In general, anti-lift pile foundation is taken to counteract the adverse effect of ground water floatage to building in sub-ground engineering. But, anti-lift pile foundation is not the only measure and it has been proved times and again, so more economical and reasonable foundation is called in relation to certain engineering condition in design works. Based on certain engineering case, security and economical rationality of its foundation design is analyzed, and an optimized foundation scheme is put forward. The foundation design optimization could produced some inspiration to other foundation design.

【Key words】 anti-lift pile; natural foundation; baseboard spreading anti-floatage

0 引言

随着上海地区的经济迅速发展和城市用地的日益紧张, 人们在城市建设中越来越注重地下空间的开发和利用, 建筑物的基础埋置越来越深, 地下室的开发和利用越来越广泛, 由于上海地区的地下水位常年在地下 0.5 m 左右, 随之而来的结构抗浮问题越来越引起建设单位和设计人员的注意, 如何把握好安全与经济之间的尺度, 逐渐得到人们的重视。

1 工程概况

某工程位于上海市松江区九亭镇, 总用地面积 215 000 m², 建筑面积 462 880 m², 建筑物主要由

14~27层住宅、3层幼儿园、3层带外扩地下室的沿街商铺及地下车库组成。本文主要研究3层带外扩地下室的商铺, 地下室范围 280 m×36 m, 上部建筑物的范围 260 m×20 m。框架结构, 地上3层, 高14.85 m; 地下结构为地下一层, 主体结构两侧有不带上部结构的外扩8 m的纯地下室, 埋深4.5 m。具体情况见图1和图2。

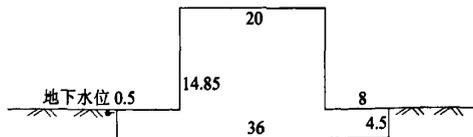


图1 建筑物剖面图(单位:m)

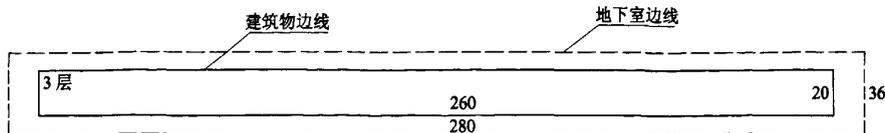


图2 建筑物平面图(单位:m)

2 场地工程地质条件

拟建场地位于长江三角洲前端的上海地区,地面下 45 m 以内都是第四纪全新世的松软土,形成年

代较新,固结度低,土质软弱,土层呈层状分布,有一定规律。本场地土层物理力学参数见表 1。

表 1 土层物理力学参数表

层号	土层名称	层厚 /m	含水量 w/%	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	孔隙比 e	液性指数 I_L	静探(单桥) p_s/MPa	直剪固结(峰值)		压缩模量 $E_{s0.1-0.2}/\text{MPa}$	地基承载力特征值 f_{ak}/kPa
								c/kPa	$\varphi/(\text{°})$		
①	素填土	0.4~1.0									
②	粉质粘土	1.0~2.0	30.0	18.5	0.90	0.65	0.74	20	19	5.0	85
③	淤泥质粉质粘土	14.0~17.0	41.2	17.6	1.15	1.31	0.61	12.0	15.5	3.0	70
⑤ ₁	粉质粘土	12.6~17.1	36.2	17.9	1.03	0.94	1.03	18	19.5	4.0	90
⑤ ₂	粘质粉土夹粉质粘土	8.0~9.0	33.1	18.2	0.95	0.90	3.00	13	25	5.4	110

3 原设计方案

按设计单位向勘察单位提供拟建建(构)筑物性质表有:商铺为框架结构,拟采用桩基础,柱荷重一般设计值为 3 600 kN;纯地下室拟采用抗拔桩;地下室埋深约 4.5 m。因此对拟建商铺和地下室的勘察工作是按桩基础的要求提供勘察报告。

在勘察报告提交后,建设方组织了勘察与设计的技术交流会。在交流会上,设计方详细介绍了沿街商铺的设计方案:由于上部三层商铺为框架结构,层高比较大(约 4.5 m),柱距和跨度比较大(6 m×6 m),柱荷重相对比较大,设计拟采用桩基础;没有上部结构的纯地下室,地下水位埋深常年在 0.5 m 左右,所受浮力大于结构自重,为平衡浮力,拟采用抗拔桩,为使沉降均匀和便于施工,设计方拟采用同一桩型和桩长,即 350 mm×350 mm 的预制方桩,桩长 25 m,桩端持力层为⑤₁层粉质粘土的中下部,桩数约为 950 根(见图 3)。

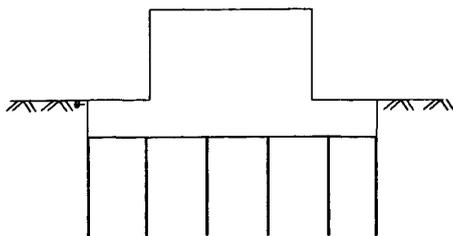


图 3 原设计基础形式示意

在上海地区,一般的三层框架结构或纯地下室结构一般情况均采用桩基础形式,设计方拟采用的基础方案,也无可非议,符合上海地区的常规做法。

4 勘察方对基础形式的建议

上海地区经常采用的抗浮方法常有:①增加自重,增加结构自重或覆土抵消水浮力,适用浮力较小

的情况;②底板外伸抗浮,就是将地下室的底板向基础外延伸,靠悬挑部分覆土自重抵消水浮力,增加了基坑开挖面积;③拉锚,用于临时性结构,拉锚长期在水下,在地下水、土作用下容易腐蚀;④筏基解压排水法,通过消除空隙水压力解决地板下水浮力的问题;⑤抗拔桩,常采用钢筋混凝土预制方桩、预应力混凝土管桩、钻孔灌注桩等形式,抗拔桩是解决水浮力最常用的方法。

就本工程而言,我们根据设计提供的资料进行了如下估算:

对于有上部结构的部分,单位面积荷载设计值 20.0 kPa,标准值为 18 kPa,准永久值为 16.0 kPa^[1],地上 3 层+屋顶一层+地下一层荷载标准值约为 18×5=90 kPa;浮重度 γ 为①、②、③层土重度的加权平均值减去水的浮力,约为 8.0 kN/m³,埋深 4.5 m,单位面积上开挖补偿标准值为 8.0×4.5=36 kPa;地下水位 0.5 m,基坑埋深 4.5 m,单位面积上的浮力标准值为 9.8×(4.5-0.5)=39.2 kPa;地基土③层淤泥质粉质粘土的地基承载力特征值为 $f_{ak}=70$ kPa,经过深宽修正后 $f_a=f_{ak}+\eta_b\gamma(b-3)+\eta_d\gamma_m(d-0.5)=102$ kPa。

笔者通过研究高水位地区补偿性基础后,认为该类基础设计一般有以下几种情况:

① 建筑物基底荷重 \geq (浮力+开挖补偿+地基承载力修正特征值),须设置桩基础,有沉降。本工程原设计是柱下布桩,柱荷重对应数个桩的承载力,没有考虑浮力、开挖补偿和地基承载力修正特征值。

② (浮力+开挖补偿+地基承载力修正特征值) $>$ 建筑物基底荷重 $>$ (浮力+开挖补偿),一般不需要桩基础,有沉降。当天然地基的沉降量不满足要求时,则设置桩基。如上海地区的沉降控制复合

桩基就是用这种思路来控制沉降的。

③ 建筑物基底荷重=(浮力+开挖补偿)时,相当于土层的原始状态,没沉降,没回弹。

④ (浮力+开挖补偿) $>$ 建筑物基底荷重 $>$ 浮力时,没有沉降,有回弹。

⑤ 浮力 \geq 建筑物基底荷重时,须进行抗浮处理,如设置抗拔桩。

由国标《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)^[2]3.0.4.1条,应采用荷载标准组合,对于有上部结构的部分,作用在底板上的净压力=上部结构压力-(浮力+开挖补偿) $=90-(39.2+36)=14.8$ kPa,小于第③层淤泥质粉质粘土修正后的地基承载力特征值 102 kPa。属于第②类情况,无须使用桩基础。

对于无上部结构的纯地下室部分,作用在底板上的净浮力=结构自重-水浮力 $=18\times 1.5(\text{层})-39.2\times 1.2(\text{安全系数})=-20.04$ kPa,即浮力大于基底压力^[3],属于第⑤类情况,需要外力来平衡浮力,原设计方案就是用桩基础提供抗拔力来平衡的。

因此对于结构内部而言,受力非常不平衡,有上部建筑的中间部分底板受到的净压力,而两边纯地下室部分底板受到的净浮力,地下室的底板整体很难协调。即使加厚地下室底板,增大配筋量,也往往会使底板结构裂缝控制不满足规范要求,严重时结构开裂,地下室渗水或漏水^[4]。为此设计方采用的桩基础形式来平衡底板,减少底板应力,符合上海地区的常规做法。

但是通过整体分析,既然无须使用桩基础提供支撑力,只须使结构内部受力平衡,我们就想到了外伸地板抗浮,通过外伸地板上覆土压力来平衡无上部结构的地下室的净浮力,达到均衡地下室底板的目的,从而改变基础的设计形式,由桩基础变成了纯天然地基(见图4)。

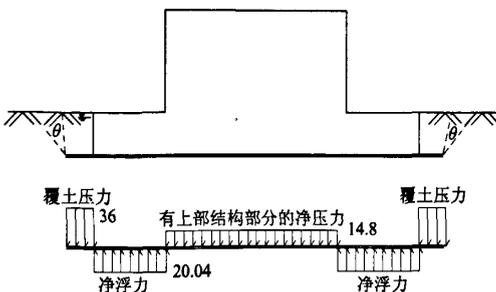


图4 优化后基础形式及受力(单位:kPa)

许多设计人员已经习惯了使用设计软件,对于

像本工程这样的独特的结构形式,没有现成的计算软件,需要手工计算找出最不利工况,对于有些设计人员比较生疏。他们对于结构内部设计比较熟悉,而对于上覆土压力如何取值则比较模糊。

挑板在纯浮力作用下,需要向下的力来平衡。而向下的力应包括上覆土压力和挑板边缘土的剪切力。按土力学理论,挑板边缘土层的剪切力为图4中带扩散角 θ 的三角形土体的重力提供的。扩散角 θ 的取值为上覆各土层内摩擦角标准值的加权平均值。但是由于最不利情况是刚建成时的工况,此时挑板上覆土层是新近填筑压实的,上覆土层内摩擦角标准值已经与原土层的内摩擦角标准值大不相同,因此计算中就不计图4中扩散角 θ 内三角形土体的土压力即剪切力,只计挑板上垂直部分土体产生的土压力。

基础底板中的弯矩大小是影响底板厚度和配筋的主要因素之一^[2]。为使地下室底板中的弯矩最小、底板结构受力均匀,则外挑板覆土压力应平衡掉无上部结构的地下室底板上半部分的纯浮力,另一半则由建筑物中间有上部结构的部分底板上的净压力来平衡,见图4。

沿建筑物长轴取单位宽度(m)为计算单元,计算底板外挑长度:无上部结构的地下室底板上半部分的纯浮力为 $20.04\times 4=80.16$ kN,外挑板覆土压力为 $\gamma_0(\text{浮重度})\times d(\text{埋深})\times L(\text{外挑板长度})=8.0\times 4.5\times L=36L$ kN,由于无上部结构的地下室底板上半部分的纯浮力等于外挑板覆土压力,所以外挑板长度 $L=80.16\div 36=2.23$ m,建议取 2.5 m。最后设计方优化后的底板外挑长度和我们的建议相符。

地基基础一般都要满足承载力和沉降量两方面的要求,既然承载力满足了要求,那么沉降量呢?由国标《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)3.0.4.2条,沉降计算时采用荷载准永久组合,就有基底附加压力 $p_0=16(\text{准永久值})\times 5(\text{层})-(36+39.2)=4.8$ kPa,因而可以看出附加压力很小,仅 4.8 kPa,沉降量几乎为 0 cm,满足了设计和规范的要求。

在建设单位组织的设计方案优化会上,底板外伸抗浮法的建议得到了专家的认可。经过最终优化,桩筏基础调整为纯筏型基础,混凝土设计强度 C30、抗渗 S6,地下室地板厚 400 mm,两侧外伸 2.50 m,并加强了地下室地板和内部结构(见图4)。

在施工过程中,为防止上浮,进行了轻型井点降

水。本分项工程于2005年底开始施工,到2006年5月建成。根据2008年3月的实际沉降观测资料,有上部结构的部分沉降为10~25 mm,没有上部结构的纯地下室部分沉降为0~4 mm,沉降完全满足了设计要求。完工近两年来,使用状况良好,取得很好的经济效益。

但是为什么实际沉降会大于理论计算的沉降,分析有四个主要原因:①开挖时基坑有回弹;②施工时基底有所扰动;③由于实际层高较高(4.5 m),估算用的单位面积荷载准永久值偏小;④理论计算时是按地下水埋深0.5 m计的,由于上海地区地下水水位变化区间在0.5~1.5 m之间,实际中有可能地下水埋深是1.5 m,基底附加压力会变大。

方案经济比较:桩基方案,预制方桩总数约950根,单桩钢筋混凝土用量 $0.35 \times 0.35 \times 25 = 3.06 \text{ m}^3$,预制方桩每立方单价1200元,预制方桩施工费用30元/m,总费用为 $950 \times 3.06 \times 1200 + 950 \times 25 \times 30 = 420.09$ 万元;天然地基方案,仅增加了开挖补偿区的施工费用和底板挑出部分多用的钢筋混凝土用量及结构内部增加的钢筋的费用,估计增加费用为40万元左右。

通过底板外伸抗浮法的应用,为建设单位节约了2个月的工期和380多万元的工程建设费用,取得了良好的经济效益。

5 结论与建议

1)通过底板外伸抗浮法在本工程中的应用,使桩基础优化成天然地基,取得非常好社会效益和经济效益。

2)勘察技术人员不但要解决“是什么”,而且也要思考“为什么”和“怎么办”,在岩土工程领域创造性地提出自己的意见和建议。

3)勘察和设计人员应进行充分沟通,发挥各自长处,为工程建设提供合理意见和建议。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国建设部.GB 50007—2001 建筑结构荷载规范(2006版)[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] 中华人民共和国建设部.GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002:20-23.
- [3] 中华人民共和国建设部.05SG109-1 民用建筑工程设计常见问题分析及图示(结构设计原则、荷载及荷载效应组合和地震作用、地基基础)[S].北京:中国建筑标准设计研究院,2005:53.
- [4] 中华人民共和国建设部.GB 50010—2002 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002:13-15;99-111.

收稿日期:2008-12-08

(上接第67页)

参 考 文 献

- [1] 吴积善.论泥石流学[J].山地研究,1996,14(2):89-95.
- [2] 崔鹏,刘世建,谭万沛.中国泥石流监测预报研究现状与展望[J].自然灾害学报,2000,9(2):10-15.
- [3] 韦方强,崔鹏,钟敦伦.泥石流预报分类及其研究现状和发展方向[J].自然灾害学报,2004,13(5):10-15.
- [4] 刘希林.我国泥石流危险度评价研究:回顾与展望[J].自然灾害学报,2002,11(4):1-8.
- [5] 张春山,张业成,等.黄河上游地区崩塌、滑坡、泥石流地质灾害区域危险性评价[J].地质力学学报,2003,9(2):143-153.
- [6] 崔鹏,杨坤,朱颖彦,等.西部山区交通线路的泥石流灾害及减灾对策[J].山地学报,2004,22(3):326-331.
- [7] 罗正东.东川生态环境建设与泥石流综合治理[J].水土保持研究,2003,14(4):234-237.
- [8] 倪晋仁,王光谦.泥石流的结构两相流模型:I.理论[J].地理学报,1998,53(1):66-76.
- [9] 刘希林.国外泥石流机理模型综述[J].灾害学,2002,17(4):1-6.
- [10] 李育枢,李天斌,等.川西山区某公路拱桥变形破裂成因及处理措施探讨[J].中国地质灾害与防治学报,2003(2):50-55.
- [11] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,2005.

收稿日期:2009-01-04