某小区住宅楼素混凝土桩复合地基设计

吕红华[1], 董兆祥[2], 李树德[1]
(1. 北京大学环境学院, 北京 100871; 2. 河北地质学院, 石家庄 050031)

摘 要: 本工程选择 5 层细砂层为持力层, 通过精心勘察、设计及计算, 承载力和沉降变形都满足设计要求, 为本地区此类工程的应用提供了一个比较成功和值得借鉴的实例。

关键词: 复合地基; 方案选择; 沉降变形
中图分类号: TU375.3 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2003) 03-0045-03

The Design of Composite Foundations by Plain Concrete Piles of Some buildings in Some Community

LU Hong-hua[1], DONG Zhao-xiang[2], LI Shu-de[1]
(1. *College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing* 100871, *China*;
2. *Hebei College of Geology, Shijiazhuang* 050031, *China*)

Abstract: This engineering adopted the fifth stratum which is pressed to the uploading. Through the elaborate reconnaissance, design and calculation, the subsidence and deformation and loading met the design, which is a good example for the same engineering in the area.

Key words: composite foundations; scheme-choice; subsidence and deformation

1 工程概况

拟建住宅楼群(共四座)位于石家庄市中山西路北侧, 石家庄陆军指挥学院生活区院内, 场地原为汽车训练场。地面以上 13 层, 高 39.0 m, 一层地下室。设计基础类型为筏板基础, 埋深 4.4 m, 基底反力 300 kPa。上部结构类型设计为框架结构。安全等级为二级。

2 工程地质资料

建筑场地在地貌上属太行山山前冲积平原, 地形平坦。场地除表层填土外, 主要地层均为第四纪冲洪积成因的黏土、粉土和砂类土。根据其岩性和物理力学性质, 在钻探所达 36.0 m 深度范围内自上而下分为 15 个工程地质层。下面是与本工程关系较密切的 8 个土层的具体性状:

[1] 素填土: 层厚 0.2～2.1 m; 土质不均匀, 以粉土为主, 含零星小砖块。

④ 新近堆积黄土状粉土: 层厚 0.9～4.3 m; 土质不均, 顶部有炭屑及砖屑, 具大空隙, 局部夹粉质黏土薄层; 中压缩。

㈣ 黄土状粉质黏土: 层厚 1.5～4.8 m; 土质不均匀, 具大空隙, 含大量锰质结构, 底部含小姜石, 见白色条纹; 可塑, 中压缩。

㈣-1 黄土状粉质黏土: 层厚 5.3 m; 土质不均匀, 含水量大; 软缩, 中-高压缩。

¼ 黄土状粉土: 层厚 0.9～7.2 m; 土质不均匀, 顶部含小姜石, 局部夹黄土状粉质黏土薄层, 见白色条纹; 中压缩。

½ 细砂: 层厚 1.6～7.0 m; 砂质较纯, 分选性较差, 局部混有中粗砂透镜体, 成分主要为石英和长石。

¾ 粉土: 层厚 0.5～3.85 m; 土质不均, 夹多层粉质黏土薄层, 见少量姜石及氧化物, 为粉土和粉质黏土互层; 中压缩。

⑧ 中砂: 层厚 0.4～2.7 m; 砂质较纯, 分选性较差, 主要为石英和长石, 少量暗色矿物。

㈦ 粉土: 层厚 0.5～3.7m; 土质不均匀, 局部夹薄层粉质黏土, 少量姜石和云母; 中压缩。基础下各土层(④-⑧层)的物理力学性质见表 1。

[1] 收稿日期: 2003-0425
基金项目: 地震科学联合基金资助项目(198089)。
作者简介: 吕红华(1978-), 硕士生, 地貌学与第四纪地质学专业, 研究方向为工程地质环境与环境地质灾害。

表 1 基础下土层的物理力学性质

地层编号	岩性	密实度	层厚/ m	f_k 标准值/ kPa	压缩模量	重度
④	黄土状粉土	–	0. 9～4. 3	100	–	15. 9
㈣	黄土状粉质黏土	–	1. 5～4. 8	140	10. 26	18. 3
㈣– 1	黄土状粉质黏土	–	5. 3	90	4. 57	19. 3
¼	黄土状粉土	稍密	0. 9～7. 2	150	11. 71	17. 2
½	细砂	中密	1. 6～7. 0	160	18	–
¾	粉土	稍密– 中密	0. 5～3. 85	170	8. 97	19. 8
⑧	中砂	中密	0. 4～2. 7	260	27	–

3 黄土状土的湿陷性评价

根据黄土湿陷试验结果, 9# 、18# 探井自重湿陷系数均小于 0. 015, 27# 探井自重湿陷量为 0. 78 cm。依据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25– 90) 第 2. 3. 2 条判定该场地为非自重湿陷性场地。自基础底部算起, 9# 探井总湿陷量为 2. 1 cm, 18# 、27# 探井湿陷系数均小于 0. 015, 依据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25– 90) 第 2. 3. 7 条判定地基湿陷等级为一级。据勘察 35. 0 m 内未见地下水, 从而设计时不考虑地下水对地基土的影响。

4 地基处理方案选择

4. 1 天然地基筏形基础

该住宅楼群基底压力设计值 300 kPa。

筏形基础埋深 4. 4 m。从工程地质剖面图上可以看出, 基础底面位于新近堆积黄土状粉土④层、黄土状粉质黏土㈣层、㈣– 1 层和黄土状粉土¼ 层之上。地层变化较大。根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ25– 90) 第 3. 6. 3 条, 第④、㈣、㈣– 1、¼ 层承载力设计值分别为: 159 kPa, 210 kPa, 161 kPa, 220 kPa。依据《建筑地基基础设计规范》(GBJ7– 89) 第 5. 1. 1 条, 各层均不满足要求, 因此采用天然地基筏形基础方案不可行。

4. 2 复合地基筏形基础

由上知不宜采用天然地基的原因是由于持力层强度不够。根据经验选用 $D = 400$ mm 低强度混凝土桩处理上述㈣、㈣– 1、¼ 层地基土。桩端持力½ 层选用层细砂。

桩的有关设计参数见表 2。

表 2 复合地基桩设计参数

地层编号	地层名称	侧阻力标准值 q_{sk} /kPa	端阻力标准值 q_{pk} / kPa
④	粉土	14	–
㈣	粉质黏土	20	–
㈣– 1	粉质黏土	14	–
¼	粉土	22	–
½	细砂	25	400

单桩承载力标准值估算依据《建筑地基基础设计规范》(GBJ7– 89) 第 8. 6. 3 条提供公式

$$R_{kl} = U_p q_{si} l_i + q_p A_p \tag{1}$$

计算, 结果见表 3。

表 3 复合地基单桩承载力标准值估算结果

楼号	有效桩长 / m	桩端持力层	计算用钻孔号	单桩承载力标准值 / kN
1#	5. 95	½ 层细砂	33#	239. 4
2#	4. 55	½ 层细砂	20#	197. 9
3#	6. 05	½ 层细砂	16#	186. 0
3#	5. 75	½ 层细砂	11#	223. 4
4#	5. 45	½ 层细砂	7#	227. 2

可见, 复合地基处理后, 各层承载力大为提高。

下卧层强度验算见表 4。

表 4 下卧层强度验算结果

楼号	土层名称及编号	层顶埋深/ m	Pcz / kPa	Pz / kPa	$P = Pcz + Pz$ /kPa	Fz /kPa 规范 GBJ7– 89 第 5. 1. 3 条
1#	细砂½	8. 30	157. 7	198. 5	356. 2	604
	粉土¾	14. 5	275. 5	127. 1	402. 6	462
2#	细砂½	8. 1	153. 9	201. 0	354. 7	593
	粉土¾	14. 3	271. 7	129. 0	400. 7	458
3#	细砂½	8. 25	156. 8	199. 2	355. 9	601
	粉土¾	14. 3	271. 7	129. 0	400. 7	458
4#	细砂½	8. 3	157. 7	198. 6	356. 3	604
	粉土¾	14. 6	262. 2	133. 7	395. 9	464

由上表可知, 下卧层强度满足规范 GBJ7– 89 第 5. 1. 6 条 $Pz + Pcz < fz$ 的要求, 因此采用复合地基筏形基础方案是可行的。而且, 此方案易于施工, 节省开支。

5 复合地基处理设计方案

5. 1 换土垫层

3# 、4# 槽东侧原为鱼塘, 需换土处理。素土回填按下图进行。

5. 2 桩数、桩的取值与桩的布置

具体见下表。

其中单桩承载力计算按公式计算:

$$R_{k1} = U_p q_{si} l_i + q_p A_p \tag{2}$$

$$R_{k2} \leq \frac{1}{3} f_{cs\ k} A \tag{3}$$

式中: R_{k1}、R_{k2} —— 单桩的竖向承载力标准值, kN; q_p —— 桩端的承载力标准值, kPa; A_p —— 桩身的横截面积; U_p —— 桩身的周边长度, m; q_{si} —— 桩周土的摩擦力标准值, kPa; l_i —— 按土层划分的各段桩长, m; f_{csk} —— 设计桩身强度, kPa 。

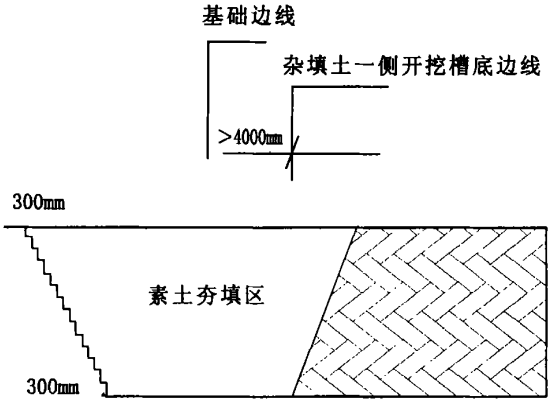

图 1　素土回填剖面示意图

说明: (1) 原状土一侧按 45 放坡, 夯填时分层厚度为 300 mm, 与原状土接触部位设计高度均为 300 mm 台阶;

(2) 杂填土一侧基础边线外扩 4 m 以上进行大放坡, 放坡要求夯填过程中边坡杂填土不掉落、坍塌, 夯填时与杂填土接触部位不设台阶。

表 5　各楼座桩设计情况一览表

桩径	有效桩长 / mm	桩中心距 / m	布桩形式	置换率	R_k
1# 楼	400	7.5	1.27×1.23m	矩形	m = 9.0% 240kN
2# 楼	400	7.5	1.13×1.23m	矩形	m = 9.0% 240kN
3# 楼	400	8.5	1.13×1.23m	矩形	m = 9.0% 245kN
4# 楼	400	8.5	1.27×1.23m	矩形	m = 8.0% 270kN

而复合地基承载力则按下式进行:

$$f_{spk} = m\frac{R_k}{A_p} + \alpha\beta(1 - m)f_k \qquad (4)$$

式中: f_{spk}—— 复合地基承载力标准值; m —— 面积置换率; R_k —— 单桩承载力标准值; A_p —— 桩的截面尺寸; α—— 桩间土强度提高系数, 1.0; β—— 桩间土强度发挥度, 0.9; f_k —— 天然地基承载力标准值;

经计算, 复合地基承载力均满足> 250 kPa 的要求。

5.3　地基土下卧层验算 (计算过程以 4# 楼为例)

素砼桩加固区下卧层为第¾ 层粉土, 其承载力标准值 f_k = 170 kPa, 根据《建筑地基基础设计规范》(GBJ7- 89) 有关规定, 对该层进行下卧层验算如下:

$$P_z + P_{cz} \leq f_z \qquad (5)$$

式中: P_z —— 下卧层顶面处附加压力设计值, kPa ; P_{cz} —— 下卧层顶面处土的自重压力标准值, kPa; fz —— 下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力设计值, kPa

¹ 下卧层顶面处附加压力设计值 P_z

$$P_z = \frac{lb(P - P_c)}{(b + 2z\,\mathrm{tg}\theta)(l + 2z\,\mathrm{tg}\theta)} \text{(按矩形基础计算)} \qquad (6)$$

式中: l —— 基础长度, 89.31 m; b —— 基础宽度, 14.16 m; $(P - P_c)$ —— 基底附加应力平均值与土的自重压力之差, kPa; θ—地基压力扩散角, 20°; z —— 基础底面至软弱下卧层顶面处的厚度, 7.5 m。

将各值代入上式可得:

$$P_z = \frac{89.32\times14.16\times(250 - 4.4\times18.0)}{(14.16 + 2\times7.5\times0.364)(89.31 + 2\times7.5\times0.364)}$$
$$= 116.17\ \text{kPa}$$

④下卧层顶面处土的自重压力标准值 P_{cz}

$$P_{cz} = \gamma_d Z \qquad (7)$$

式中: γ_d —— 下卧层顶面以上土体重度, 18.0 kN/m³; z —— 下卧层顶面厚度, 14.0 m 将各值代入上式得: P_{cz} = 252.0 kPa

㈣下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力设计值 f_z

$$f_z = f_k + \eta_b\gamma(b - 3) + \eta_d\gamma_0(d - 0.5) \qquad (8)$$

式中: f_k —— 下卧层地基承载力标准值, 170 kPa; γ、γ_0 —— 基底以下土的重度及基底以上土的加权平均重度; γ_0 取18.0 kN/m³; η_b、η_d —— 基础宽度及深度修正系数, 按规范查表分别取: η_b = 0、η_d = 2.0; b、d —— 基础宽度及深度, d = 14.0 m

将各值代入上式计算得: f_z = 636 kPa

¼ 计算结果

$$P_z + P_{cz} = 368.17\ \text{kPa} < f_z = 636\ \text{kPa}$$

即下卧层强度满足设计要求。

6　结　论

由以上计算分析可知, 在本工程地质条件下, 按此方案设计是完全可以满足承载力、沉降变形条件的。

本设计的完成主要依据了建筑地基基础(GBJ7- 89)、高层建筑箱形与筏形基础技术规范(JGJ6- 99)、建筑地基处理技术规范(JGJ79- 91)、建筑桩基技术规范(JGJ94- 94)等规范。

参考文献:

[1]　石家庄市勘察测绘设计研究院. 石家庄陆军指挥学院住宅小区岩土工程勘察报告[R]. 2002. 1. 4.

[2]　北方设计研究院. 基础平面图[Z]. 2002. 2.

[3]　陈希哲. 土力学地基基础工程(第三版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.

[4]　林宗元. 岩土工程治理手册[S]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.