

高强水泥土桩复合地基在高、重建筑中的应用

孙占芝¹, 罗健雄¹, 宋元斌²

(1. 郑州工业大学综合设计研究院, 河南 郑州 450002; 2. 大亚湾建筑设计院, 广州 惠州 516082)

摘 要: 水泥土桩复合地基是我国应用较广泛的一种地基处理形式,其主要施工方法为深层搅拌法(含浆液深层搅拌法和粉体深层搅拌法)、高压喷射注浆法(亦称高压旋喷法)及夯填法。其中,深层搅拌法和高压旋喷法为国内常用方法,通过工程实例研究分析了高强水泥土桩复合地基的相对刚度 and 计算方法,对同类工程有一定参考价值。

关键词: 高强水泥土桩; 复合地基; 相对刚度

中图分类号: TU 472.3+6 文献标识码: A

0 21 11

施打高压旋喷水泥土桩的工法称为高压喷射注浆法, 20 世纪 60 年代后期始创于日本, 称为 CCP 工法, 现已发展到了多重管大直径。我国于 70 年代开始试验研究, 70 年代末正式用于工程, 但由于机具设备落后, 设计理论不完善等原因, 限制了这一技术的应用和发展, 在建筑工程地基处理中, 虽然有一些工程大胆采用, 但大多效果不佳, 经济效益不够理想。因此仅限于既有建筑物加固, 或防渗止水及基坑支护和少数多层建筑的地基处理。所谓高强水泥土桩复合地基, 即是由承载力较高的水泥土桩与地基土组成的承载力标准值 $f_{sp,k} \geq 300 \text{ kPa}$ 的水泥土桩复合地基。高强水泥土桩复合地基在高(层)重(荷载)建(构)筑物上的应用有着极为重要的技术经济效益。

1 高强水泥土桩复合地基常见类型

高强水泥土桩复合地基中桩的刚柔性分类可根据桩土相对刚度 K 的大小而分为三种,工程中较常见的有:①刚性桩复合地基($k > 1$)一般由桩长小于 8 m 的单管高压旋喷桩形成,桩间土承载力标准值 $f_{sp,k} \leq 150$ kPa。②柔性桩复合地基($k < 0.8$)由一般深层搅拌形成,桩间土承载力标准值 $f_{sp,k} > 150$ kPa。③半刚性桩复合地基($0.8 \leq k < 1$)一般由较短深层搅拌桩($d = 500$, $l \leq 5$ m)形成,其桩间土承载力标准值 $f_{sp,k} \leq 120$ kPa, $E_s \leq 5$ MPa。

确定高强水泥土桩复合地基中桩的刚柔类型,对复合地基承载力计算,褥垫层的设置与否及沉降的计算有重要的意义,应引起足够重视^[2]。

2 工程实例

2.1 工程概况

河南名车城地上三层,平面呈方形,如图1所示。底层面积2300 m²,8 m×12 m柱网框架结构,最大柱荷载6700 kN。由北向南缓倾,高差0.5 m左右,地貌单元属于泛滥平原,土层为新近沉积粘性土,地表分布有人工填土层,在钻探深度25.5 m范围内,有三种地层组合,即0~2.2 m为人工填土,1.1~18.7 m为粉土,9.35~25.5 m为粉细砂,其场地上主要计算参数见表1。

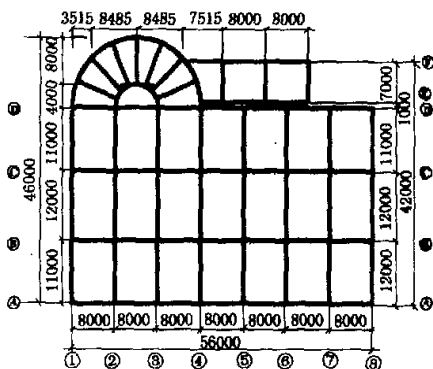


图 1 结构平面图

Fig. 1 Structure ichnography

收稿日期:2001-04-28;修订日期:2001-06-17

作者简介:孙占芝(1955-),女,山东省乳山县人,郑州大学高级工程师,主要从事建筑设计方面的工作。

表 1 场地土层主要计算参数

Table 1 Field soil layer important calculation parameter

土层 序号	土层名称	土层厚 度/m	含水量 W/(%)	天然重度 $\gamma(\text{kN}/\text{m}^3)$	孔隙比 e	液性指 数/ I_c	压缩模量 E_s/MPa	钻孔灌注桩		承载力标准 值 $f_{s,k}/\text{kPa}$
								q_s/kPa	q_p/kPa	
1	杂填土	1.22	-	-	-	-	-	-	-	-
2	粉土	1.73	23.5	19.9	0.671	0.73	8	30	-	130
3	粉土	1.9	23.4	19.8	0.725	0.85	4.2	25	-	95
4	粉质粘土	2.04	27.4	19.6	0.745	1.06	3.2	28	-	80
5	粉土	1.82	24.4	20.1	0.672	0.88	8.5	32	400	120
6	粉土	3.14	25.5	20	0.693	0.95	7	30	400	120
7	粉土	3.06	25.3	19.8	0.705	0.76	7.9	30	400	125
8	粉土	2.74	34.8	18.5	0.982	0.78	3.4	25	400	80
9	粉细砂	7.85	20.8	20	0.919	-	13	40	400	180

2.2 基础方案对比

由于该工程属大跨度大柱网结构,单柱荷载大,拟定采用钻孔灌注桩基础,桩径 0.6 m,桩尖持力层选细砂层⑨处,桩长 19 m,经分析提出改为高强水泥土桩复合地基加独立基础,桩端持力

层选在粉土层⑤处,桩长仅 7.5 m 左右,天然土层非均匀性得以改善,并有一定的渗透加固效果,避免了泥浆污染,且又节约了钢筋用量,经工程造价比较,基础工程部分经济效益显著,节约造价约 40%,如表 2 所示。

表 2 基础工程方案经济分析对比

Table 2 Foundation project economic analysis contrast

序号	基础形式	桩径 /m	桩长 /m	单桩承载 力/kPa	复合地基承 载力/kPa	桩总数 量/根	钻孔桩造 价/万元	承台或基础 造价/万元	总造价 /万元
1	钻孔灌注桩基础	0.6	19	1072	-	189	98.4	22.2	120.6
2	高强水泥土桩复合地基独立基础	0.6	7.5	350	300	492	58	16.96	74.96

2.3 高强水泥土桩复合地基效果的检验评价

本工程桩试桩 3 组,复合地基测试 3 组,复合地基承压板采用方形 1 m×1 m 钢板,采用慢速维持荷载法分别对单桩及复合地基进行测试。分析如图 2 所示的 $Q-S$ 曲线。

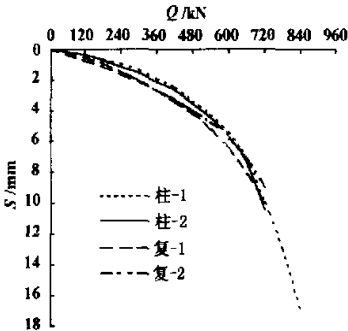


图 2 荷载-沉降曲线图

Fig.2 Curves of load to deformation

根据文献[1]的有关规定,取压板沉降量 $S=0.004\sim 0.01$ 倍承压板边长所对应之荷载为承载力基本值,其 3 组复合地基承载力基本值 $f_{sp,k}$ 均大于 300 kPa。单桩取极限荷载的一半为单桩承载力基本值,结果 $R_p=350$ kN,均达到设计要求。

3 设计问题的讨论

复合地基承载力标准值 $f_{sp,k}$ 应按 JGJ 79-91 中公式计算:

$$f_{sp,k} = \frac{1}{A_e} [R_k^d + \beta f_{s,k} (A_e + A_p)]$$

其中, β 及 R_k^d 对复合地基承载力的影响较大。

3.1 桩间天然地基承载力折减系数 β 值取值

工程实践表明:河南地区采用的深层搅拌水泥土桩复合地基一般为桩长小于临界桩长的柔性桩复合地基,对于类似的高压旋喷桩复合地基,其 β 值的取值计算方法应与深层搅拌水泥土桩取值一致,即先计算桩土相对刚度 K 值,再按 K 值确定 β 值^[2]。

$$K = 0.6 \left(1 + \sqrt{\ln \frac{l}{d}} \right) \cdot \frac{d}{l} \sqrt{\frac{E_p}{E_s}}$$

式中: K 为桩土相对刚度; l 为有效桩长; d 为平均桩径; E_s 为桩间土压缩模量; E_p 为桩身压缩模量^[2]。

当 $K \leq 0.5$ 时, $0.8 \leq \beta \leq 1$; 当 $0.5 \leq K \leq 0.8$ 时, $0.5 \leq \beta \leq 0.8$; 当 $0.8 \leq K \leq 1$ 时, $0.3 \leq \beta \leq 0$ 。

5; 当 $K > 1$ 时, $0 \leq \beta \leq 0.3$ 。统计结果表明, 郑州地区柔性高压旋喷桩 K 值大多在 $0.5 \sim 0.8$ 之间, 此时对应的 β 值在 $0.5 \sim 0.8$ 之间。对刚性桩或相对刚度 K 值较大(如 $K \geq 0.8$) 的柔性桩复合地基在基础与桩顶之间宜设置褥垫层, 此时 β 应取高值。当置换率较小时 β 值也应取高值, 反之取低值。当然 β 取值还应根据建筑物对沉降的要求而定, 对沉降要求较高时应取低值。

3.2 单桩竖向承载力标准值 $R_{k,i}$ 的设计取值

通过该工程单桩承载力实测与理论计算值的对比分析, 高压旋喷桩单桩承载力实测值高于传统理论计算值(一般以平均桩径按钻孔灌注桩理论计算) $10\% \sim 25\%$, 采用划分端阻力与侧阻力的 $s/\lg Q$ 法分析, 高压旋喷桩的桩侧摩阻力综合增加值为原来的 $10\% \sim 30\%$, 其原因主要是因旋喷桩桩侧表面凹凸不平及外形呈糖葫芦状所致。

3.3 工程设计计算^[2]与实测结果

由 $E_p = 100 \times f_{cu,k} = 100 \times 3.5 = 350 \text{ MPa}$, $f_{cu,k}$ 取 3.5 MPa 。桩身长度范围内, 土的压缩模量加权平均值为 $E_s = 5 \text{ MPa}$ 。

$$K = 0.6 \left(1 + \sqrt{\ln \frac{l}{d}} \right) \cdot \frac{d}{l} \cdot \sqrt{\frac{E_p}{E_s}} = 0.6 \left(1 + \sqrt{\ln \frac{7.5}{0.6}} \right) \times \frac{0.6}{7.5} \times \sqrt{\frac{350}{5}} = 1.04$$

由 $K = 1.04$, 取 $\beta = 0.3$ 。

单桩竖向承载力标准值

$$R_{k,i}^d = \eta \times f_{cu,k} \times A_p = 0.36 \times 3.5 \times 10^3 \times$$

$$0.2827 = 356.2 \text{ kN}.$$

本工程复合地基桩的置换率为 $m = 0.22$ 。

$$f_{sp,k} = \frac{1}{A_e} [R_{k,i}^d + \beta f_{s,k} (A_e - A_p)] =$$

$$\frac{m}{A_p} \left[R_{k,i}^d + \beta f_{s,k} \left(\frac{A_p}{m} - A_p \right) \right] = \frac{0.22}{0.2827} \times$$

$$[356.2 + 0.3 \times 130 \times \left(\frac{0.2827}{0.22} - 0.2827 \right)] =$$

$$0.7782 \times 395.2897 = 370.6 \text{ kN/m}^2.$$

本工程桩基检测结果为: 单桩竖向极限承载力标准值 $R_{q,k} > 700 \text{ kN}$; 单桩竖向承载力标准值 $R_{k,i}^d > 350 \text{ kN}$; 复合地基承载力标准值 $f_{sp,k} > 300 \text{ kPa}$ 。

4 结束语

采用高压旋喷桩形成的高强水泥土桩复合地基是处理高层建筑及重荷建筑地基的新构思, 用“桩”来补偿天然地基承载力的不足, 有效地控制建筑物沉降, 同时又是强调发挥桩土承载力双重作用的新思路, 从而改变桩基础设计中桩过长, 或过密的状况, 扩大了复合地基的应用范围, 对减少环境污染, 降低工程造价效果明显。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准. 建筑地基处理技术规范 [S]. JGJ79-91, 1992. 北京: 中国计划出版社。
- [2] 周同和, 孙占芝, 刘积长, 等. 水泥土桩复合地基新技术的应用研究 [Z]. 鉴定文件. 郑州: 河南省科委, 1997。

Application of High-strength Cement-soil Pier in Tall and Heavy-load Building Constructions

SUN Zhan-zhi¹, LUO Jian-xiong¹, SONG Yuan-bin²

(1. Comprehensive Design and Research Institute, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Dayawan Architectural Design Institute, Huizhou 516082, China)

Abstract: FS Cement-soil pier composite foundation is a treatment process used quite widely in our country. Its main construction process includes deep-mixing method (either liquid cement deep mixing or dry cement deep mixing), high-pressure gunning method (also known as high-pressure chemical churning method) as well as filling-and-tamping method. These deep-mixing method and high-pressure chemical churning method are commonly used now in our country. Relative rigidity and adopted principle are discussed through the course of a case study. The parameters can serve as reference in the same kind of project.

Key words: FS high-strength cement-soil pier; composite foundation; relative rigidity