

新型复合地基在台州市椒江景元花园康居工程中的应用

许国祥¹, 赵建康²

(1. 浙江省城乡规划设计研究院, 杭州 310007; 2. 浙江省地质环境监测总站, 杭州 310007)

摘要: 本文以台州市椒江景元花园康居工程为例, 对刚柔性桩复合地基基本原理、设计理论进行论述, 通过静荷载试验及建筑物沉降数据分析, 证明新型复合地基在沿海深厚软土地区应用具有广泛的应用前景。

关键词: 刚柔性桩; 复合地基处理; 设计与计算

中图分类号: TU473.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)04-0093-03

刚柔性桩复合地基是近几年出现的一项新技术, 目前还处于试验研究和探索阶段。它的工作机理是由刚性桩(沉管灌注桩、钻孔灌注桩等)、柔性桩(水泥搅拌桩或挤密碎石桩)、桩间土及砂石褥垫层组成复合地基。其中刚性桩主要用作控制建筑物沉降, 柔性桩与桩间土主要用作提高地基的承载力。此项技术在沿海地区, 特别是软弱土层地区有广泛的应用价值。

1 工程概况及工程地质条件

台州市椒江景元花园位于浙江省中部沿海平原, 台州市椒江城区东南片, 规划总用地面积 $22.87 \times 10^4 \text{ m}^2$, 总建筑面积 $27 \times 10^4 \text{ m}^2$, 由高层、多层、排屋和别墅组成, 该小区为国家康居示范工程, 结构设计需要有新技术、新材料、新工艺等。多层住宅为六跃七层异型柱钢筋混凝土框架结构。

拟建场地自然地面以下 60.1m 深度范围内均为第四系沉积物, 分布厚层淤泥质软土, 地基土可分为 5 个大层、8 个亚层。

1 层耕植土: 灰黑色, 饱和, 软塑, 含大量有机质及草根等; 2 层粉质粘土: 灰黑色, 饱和, 可塑, 中等偏高压缩性, 含少量有机质及铁锰质斑纹; 3-1 层淤泥质粉质粘土: 灰色, 饱和, 松散, 局部为淤泥质粘土, 中等偏高压缩性, 含少量有机质和贝壳碎屑, 全场地分布; 3-2 层淤泥: 灰色, 饱和, 流塑, 局部夹粉砂或淤泥质粘土, 高压缩性, 含少量有机质和贝壳碎屑; 3-3 层淤泥质粉质粘土: 灰色, 饱和, 流塑, 高压缩性; 4 层粉质粘土: 灰黄色夹灰色, 饱和, 可塑—硬可塑, 局部缺失; 5-1 层粉质粘土: 灰黄夹兰灰色, 饱和, 可塑—硬可塑; 5-2 层粘土: 灰色, 饱和, 软可塑—可塑, 中等偏高压缩性。工程地质层物理力学指标见表 1。

表 1 地基土层及物理力学性质

Table 1 Groundwork soil layer and physics mechanics parameters

土层名称	层厚 (m)	天然含水量 ω (%)	天然重度 γ (kN/m^3)	孔隙比 e_0	塑性 指数 I_p	液性 指数 I_L	液限 W_L	塑限 W_P	压缩系数 a_{1-2} (MPa^{-1})	桩周土摩 擦力特征值 (kPa)	桩端土承 载力特征值 (kPa)
1 层耕植土	0.3~2.0	28.60	19.4	0.803	11.6	0.96	29.1	17.5	0.44		
2 层粉质粘土	1.0~2.4	31.40	19.0	0.889	14.4	0.67	36.1	21.7	0.47	6	
3-1 层淤泥质粉质粘土	0.7~2.4	35.50	18.3	1.018	13.9	1.08	34.4	20.5	0.63	5	
3-2 层淤泥	9.7~14.7	55.10	17.0	1.518	20.2	1.45	46.2	26.0	1.12	4.5	
3-3 层淤泥质粉质粘土	2.2~9.6	37.10	18.3	1.045	13.7	1.20	34.3	20.6	0.59	5	
4 层粉质粘土	0.3~2.0	32.90	18.7	0.941	15.2	0.75	36.9	21.8	0.42	12	400
5-1 层粉质粘土	8.70	37.00	18.3	1.048	15.7	0.94	38.2	22.5	0.50	11	400
5-2 层粘土	> 5	38.80	18.3	1.084	19.4	0.71	44.5	25.1	0.45	12	500

2 刚柔性桩复合地基设计

刚柔性桩复合地基, 即在天然软弱地基中同时采用两种不同刚度的桩体, 充分利用其各自的工程优势, 使复合地基的变形减小, 并提高复合地基的承载力。

收稿日期: 2008-01-04; 修订日期: 2008-02-21

作者简介: 许国祥(1962), 男, 高级工程师, 主要从事地基基础处理的设计与研究。

E-mail: xugxll@163.com

它的设计理论也由传统的以强度控制,变为以控制沉降作为设计原则。通过合理布置数量较少、刚度较大、强度较高的混凝土灌注桩,主要用作减少建筑物沉降,同时也兼具加固土体的作用。另外,为满足提高承载力的需要,布置较多的对软弱土有良好加固作用且造价低廉的水泥搅拌桩即柔性桩来提高地基的承载力。

刚柔性桩复合地基中的刚性桩,借鉴桩基的减沉机理和传统复合地基提高承载力的机理,它贯穿浅层软弱土,并将桩端持力层置于压缩性低、强度高的土层中,实现将荷载向深层土的传递,将应力向土性指标好的土层传递,使各土层的应力状态得到改善以达到减沉的目的。通过两种不同强度桩体的优势互补,同时达到了提高承载力和减少沉降的目的,并降低了工程造价。

刚柔性桩复合地基设计同其它地基基础设计一样,必需同时满足强度和变形两个条件,而以沉降控制的刚柔性桩复合地基设计不同之处在于,它以允许沉降量为控制指标,考虑刚性桩、柔性桩与土的共同作用来确定刚性桩的布桩量,而强度是否满足,则通过复合地基承载力验算来核定或调整。

2.1 刚柔性桩复合地基的沉降计算

刚柔性桩复合地基沉降总地基变形 S 分为加固区压缩量 S_1 和加固区下卧层压缩量 S_2 , 即:

$$S = S_1 + S_2$$

加固区压缩量 S_1 可采用复合模量法, 即:

$$S_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_i H_i}{E_{csi}}$$

式中: ΔP_i ——第 i 层复合地上附加应力增量;

H_i ——第 i 层复合土层的厚度;

E_{csi} ——第 i 层复合土层的压缩模量。

E_{csi} 可通过面积加权或用弹性理论表达式计算,也可由室内试验测定。较为简单的算法可采用面积加权法, 即:

$$E_{cs} = mE_p + (1 - m)E_s$$

式中: m ——复合地基面积置换率;

E_p ——桩体压缩模量;

E_s ——天然土体压缩模量。

加固区下卧层压缩量 S_2 可由传统分层总和法计算。

2.2 复合地基承载力计算

刚柔性复合地基在以容许沉降为主控指标的同时,也需验算处理后复合地基的承载力满足设计要求。

在刚柔性桩复合地基中,柔性桩的主要作用是用于提高基础或承台(浅基)持力层的土体强度,因此本工程柔性桩采用常用的水泥搅拌桩,该桩具有较好的加固效果和造价优势。

在刚柔性桩复合地基设计中,刚性桩主要用于减少建筑物的沉降。同时,由于刚性桩本身强度较高,对复合地基承载力的提高亦有较大贡献。通过柔性桩对软弱土层的初步加固,天然土的承载力已得到了提高,刚性桩提高承载力的效果,是在柔性桩加固基础之上,进一步地提高。因此,刚柔性复合地基最终承载力 $f_{sp, k2}$ 为:

$$f_{sp, k2} = m' \frac{R_k}{A} + \beta(1 - m')f_{sp, k1}$$

式中: $f_{sp, k2}$ ——刚柔性桩复合地基承载力标准值 (kPa);

m' ——刚性桩面积置换率 (m^2);

A ——刚性桩的单桩截面积 (m^2);

β ——经柔性桩加固后的复合地基承载力折减系数;

R_k ——刚性桩单桩承载力标准值 (kN)。

3 静载试验与建筑物沉降观测

本工程共进行了 3 组复合桩基载荷板静载试验,载荷板面积为 $5m^2$, 2 组为正方形,边长 2.236m,中间布置 1 个刚性桩,四角布置 4 个柔性桩,另 1 组为五边形,边长为 1.705m,中间布置 1 个刚性桩,五角布置 5 个柔性桩。刚性桩均为 $\Phi 426$ 沉管灌注桩,桩长 24m, C20 素混凝土,柔性桩为 $\Phi 500$ 水泥搅拌桩,桩长 12m,水泥渗和量上部 1/3 为 18%,下部 2/3 为 12%。

静荷载试验前,对 3 组复合桩基的每根水泥搅拌桩和沉管灌注桩进行了动测测试,结果表明各桩桩身完整。试验采用砂包堆载,试验加载方式采用慢速维持荷载法,并按复合地基载荷试验方法确定终止加载条件及卸载方式。

由承台的荷载与桩顶沉降数据做出 $Q-s$ 曲线如图 1 所示。由承台各级荷载下的沉降与时间的数据做出 $s-\lg t$ 曲线,如图 2 所示。

由上述图表可以看出,3 个承台在各级荷重作用下,桩顶沉降较均匀, $Q-s$ 曲线呈缓变型,而非陡降型。同时, $s-\lg t$ 曲线的尾部没有出现明显向下弯曲的情形。3 个桩顶沉降最大值分别为 8.11、12.90、12.73mm,此时荷重 1 800kN,由此可以确定 3 个承台刚柔性桩复合地基极限承载力不小于 1 800 kN,可取极

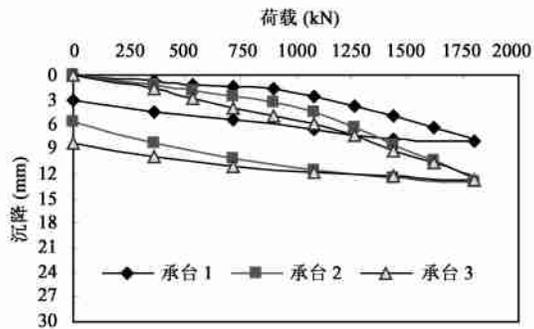


图 1 各承台静载荷试验荷载 桩顶沉降关系曲线

Fig. 1 The curve of static load vs pile top settlement of different bearing platform

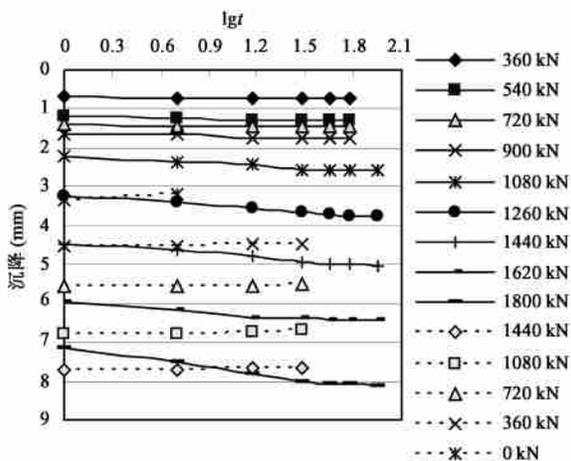


图 2 1号承台各级荷载下沉降 时间对数 lgt 关系曲线

Fig. 2 The curve of settlement vs time of different loads of No. 1 bearing platform

限承载力标准值为 1 800 kN, 换算为复合地基承载力标准值为 180 kPa。

对每幢建筑物按设计规范设置沉降观测点, 每施工完一层观测一次, 主体结顶后每隔一个月观测一次, 直到竣工验收。从各幢沉降观测资料来看(表 2), 20 多幢楼沉降量最大 34mm, 最小 10mm, 且单幢楼最大沉降差 18mm (27 号楼), 大大小于设计规范要求的 $0.002L$ (L 为两沉降观测点的距离), 即 42mm。而当地同结构类型、同楼层的住宅建筑基础采用水泥搅拌桩复合地基, 则建筑物沉降一般均在 80mm 左右(表 3), 由此可见, 采用刚柔性桩复合地基控制沉降效果明显。

表 2 刚柔性桩复合地基各幢沉降观测表

Table 2 Settlement monitoring data of composite groundwork

楼号	1	2	3	4	5	6	7	8
最小沉降 (mm)	12	11	13	15	10	10	11	13
最大沉降 (mm)	20	18	16	18	15	16	16	16
楼号	18	19	20	21	22	23	24	25
最小沉降 (mm)	13	13	12	13	9	8	9	10
最大沉降 (mm)	16	18	16	17	11	11	11	12
楼号	26	27	28	29	30	31	32	33
最小沉降 (mm)	19	16	16	11	15	11	10	10
最大沉降 (mm)	34	34	24	17	25	17	16	16

表 3 水泥搅拌桩复合地基各幢沉降观测值

Table 3 Settlement monitoring data of cement mix pile groundwork for each building

楼号	1	2	3	4	5	6	7	8
最小沉降 (mm)	58	57	55	62	60	63	64	62
最大沉降 (mm)	78	80	77	81	75	82	73	81

4 结论

(1) 在沿海有深厚软土地区, 多层建筑基础采用刚柔性复合地基在技术上是可行的。

(2) 从沉降观测表中看出, 采用刚柔性桩复合地基的建筑物沉降比用水泥搅拌桩复合地基的同类建筑物沉降量小 50% 以上。同时施工工艺简单, 质量容易保证。

(3) 刚柔性桩复合地基在沿海有深厚软土地区多层建筑物的地基处理上是一种经济实用的方法, 与用沉管灌注桩基础的同类建筑相比较桩基部分节约造价 30% 以上, 产生了良好的经济效益和社会效益。因此该技术有着广泛的应用前景。

参考文献:

[1] JGJ94-94 建筑桩基技术规范[S].
 [2] JGJ79-2002 建筑地基处理技术规范[S].
 [3] DB 33/100F-2003 浙江省建筑地基基础设计规范[S].

责任编辑: 张明霞