

# CFG 桩在软弱地基的适宜性探讨

李炳行, 覃晓毅

(广西水文地质工程地质勘察院, 广西柳州 545006)

**摘要:**通过工程实例对 CFG 桩在软弱地基的应用和复合地基检测,发现和认识了 CFG 复合地基的处理效果与适用范围,只有充分掌握工区岩土工程条件,合理设计,正确施工,才能成功地应用 CFG 桩处理软弱地基。

**关键词:**CFG 桩;复合地基;软弱地基;适宜性

**中图分类号:**TU472.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)SI-0203-03

## 0 引言

水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)加固地基是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂等混合料加水拌合形成高粘结强度桩,并由桩、桩间土和褥垫层一起组成复合地基,是提高地基承载力,控制地基变形的一种地基处理方式。其中褥垫层对保证桩土共同承担荷载、协调桩土变形、调整地基不均匀沉降、减少桩顶应力过度集中极为有效。CFG 桩具有施工工艺简单、造价低、施工速度快的特点,因此近年来在广西多层或高层建筑的地基处理中得到广泛应用。

其处理的地基土包括:素填土、杂填土、新近沉积土、淤泥、淤泥质土及一般承载力较低的粘性土、粉土、砂土等;对高层建筑,除了上述土层外,还包括一些承载力较高,但不能满足上部结构要求的粘性土、粉土、砂土或者用于控制高层建筑与裙房之间的差异沉降也常采用 CFG 桩复合地基。但是 CFG 桩并不是任何条件都适用的一种地基处理方法。对不同的场地工程地质条件,其复合地基承载力特征值和变形差异甚大,在某些特定的场地岩土条件下,该工法对承载力的提高地基变形的控制并不是十分明显。笔者以柳州市某住宅小区一期 1、2 号楼工程实例来阐述不同岩土条件下的 CFG 桩复合地基对承载力特征值及变形的影响。

## 1 工程概况

柳州市某住宅小区一期工程为砖混结构,7 层,楼高约 20 m,±0.00 m 对应的标高为 92.28 m。其中 1 号楼占地面积为 1020 m<sup>2</sup>,条形基础,基础埋深 -3.98 m;2 号楼占地面积为 506 m<sup>2</sup>,条形基础,基础埋深 -2.16 m。场地地面标高为 90.60 ~ 90.80

m,较平坦,地貌属柳江河 II 级阶地。根据岩土工程勘察报告,场地勘察深度范围内未遇地下水。各岩土层特性如下:

①<sub>1</sub>层杂填土(Q<sup>ml</sup>),杂色,大部分表层为混凝土地板,其下由碎石、粘土等组成,松散~稍密状,不均匀,为近期堆积,主要分布于场地北侧,厚度 0.15 ~ 1.50 m,分布不连续;

①<sub>2</sub>层粘性素填土(Q<sup>ml</sup>),黄色,土体结构松散,由粘土组成,堆积 10 年,不均匀,本层埋深 0 ~ 1.50 m,厚度 0.40 ~ 4.10 m,分布不连续;

②层耕土(Q<sup>pd</sup>),灰~灰黄色,土体松散~稍密状,含腐植质,不均匀,本层埋深 0.00 ~ 1.20 m,厚度 0.15 ~ 1.80 m,分布不连续;

③层淤泥质粉质粘土(Q<sup>ml</sup>),灰色,土体呈软塑状态,含有机质,有臭味,本层埋深 2.00 ~ 4.50 m,厚度 1.40 ~ 4.20 m,分布不连续;

④层表层粘土(Q<sup>ml</sup>),黄色,手指易按入土心,土体呈可塑状态,本层埋深 0 ~ 3.00 m,厚度 1.00 ~ 3.00 m,分布不连续;

⑤层粘土(Q<sup>ml</sup>),浅红黄色,土体结构致密,切面有光泽,无摇震反应,韧性中等,干强度高,呈坚硬~硬塑状态,本层埋深 0.20 ~ 7.90 m,厚度 3.60 ~ 8.90 m,分布不连续;

⑥层粉质粘土(Q<sup>ml</sup>),黄褐色,土体结构致密,切面欠光滑,稍有光泽,无摇震反应,韧性中等,干强度高,局部含粘土团块,呈坚硬~硬塑状态,本层埋深 0.00 ~ 8.20 m,厚度 1.70 ~ 8.00 m,分布不连续;

⑦层粉土(Q<sup>ml</sup>),灰褐色,切面较粗糙,有明显的摇震析水反应,干强度低,湿,呈中密状,本层埋深 3.80 ~ 6.00 m,厚度 2.00 ~ 8.20 m,分布不连续;

收稿日期:2007-05-30

作者简介:李炳行(1968-),男(壮族),广西贵港人,广西水文地质工程地质勘察院高级工程师、主任工程师、注册监理工程师,水文地质工程地质专业,从事岩土工程设计和施工工作,广西柳州市东环路 71 号, gzlbx@163.com。

⑧层圆砾( $Q^4$ ),灰黄、棕黄色,骨架颗粒为石英砂岩,亚圆形,微风化,粒径 $>2\text{ mm}$ 的颗粒约占总质量的60%,砂粒充填,含少量粘土,稍密,仅在个别

钻孔中揭露,埋深为10.3 m,厚度为2.2 m。

场地1、2号楼地基处理深度范围内各岩土层的分布特征见表1.2。

表1 1号楼岩土层情况

土层号	土层岩性	状态	层厚/m		承载力特征值 /kPa	侧阻力特征值 /kPa	端阻力特征值 /kPa
			东北段	西南段			
① <sub>2</sub>	素填土	松散	4.10~4.50	0.80~1.30	80	20	
③	淤泥质粉质粘土	软塑	1.40~3.70	1.50~3.00	100	10	
④	表层粘土	可塑		1.00~1.70	140	48	
⑥	粉质粘土	硬塑	6.5~8.2	6.0~7.80	210	85	1600

表2 2号楼岩土层情况

土层代号	土层岩性	状态	层厚/m	承载力特征值 /kPa	侧阻力特征值 /kPa	端阻力特征值 /kPa
① <sub>2</sub>	素填土	松散	3.00~4.20	80	20	
③	淤泥质粉质粘土	软塑	2.30~3.90	100	10	
⑥	粉质粘土	硬塑	6.00~7.80	210	85	1600

## 2 复合地基的设计和施工

### 2.1 复合地基设计

根据基础埋深和场地岩土工程条件,1号楼的东北地段地基持力层为①<sub>2</sub>层素填土,西南地段地基持力层为③层软塑状淤泥质粉质粘土;2号楼地基持力层为①<sub>2</sub>层素填土。因①<sub>2</sub>层素填土、③层软塑状淤泥质粉质粘土力学强度低,均不能满足上部荷载的要求,为提高地基承载力,设计采用CFG桩复合地基处理方案。

设计的CFG桩沿拟建建筑物基础范围按等边或等腰三角形布置,桩身直径 $d=500\text{ mm}$ ,桩土面积置换率 $m=0.15$ ,桩端以⑥层硬塑状粉质粘土为持力层,桩端进入持力层不小于2 m,平均桩长7 m,设计桩身混合料强度等级为C10,桩间土承载力特征值 $f_{sk}=80\text{ kPa}$ ,经处理后的复合地基承载力特征值 $f_{pk}\geq 210\text{ kPa}$ 。桩顶和基础之间设置褥垫层,褥垫层厚200 mm,褥垫层压实系数为0.94~0.97。

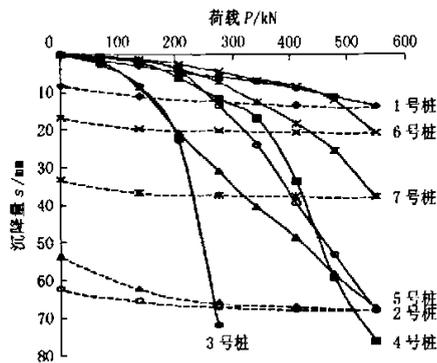
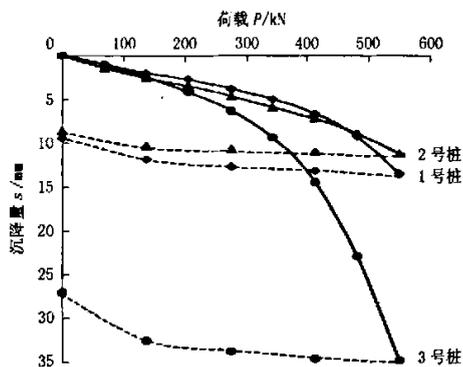
### 2.2 复合地基施工

CFG桩施工采用锤击成孔柱锤冲扩成桩法施工,即将重锤提升一定高度,自动下落冲击土层,护管跟进,如此反复冲击,直至孔深进入持力层设计深度,然后将水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂等加水拌合好的混合料边分层填入桩孔夯实,边将套管拔出。CFG桩施工严格执行国家现行有关规定。施工前按设计要求由试验室进行配合比试验,并在施工时按配合比配制混合料。冲击成孔至设计深度和抽取混合料试块,在现场监理工程师旁站监理下进行,保证了桩端进入持力层设计深度要求、桩孔孔底沉渣

的厚度在规范允许的范围之内,同时也确保了抽取混合料试块的可信度。混合料试块抗压强度满足设计要求。

## 3 复合地基检测结果分析

成桩施工结束28天后,为检验CFG桩复合地基加固效果,在1号楼选7根桩,2号楼选3根桩进行静载荷试验。单桩复合地基载荷试验采用方形钢质压板,面积为 $1.134\text{ m}\times 1.134\text{ m}=1.31\text{ m}^2$ ,采用分级等量加载,最大加载压力为设计要求复合地基承载力特征值的2倍,即最终荷载420 kPa。复合地基静载试验 $P-s$ 曲线如图1、2所示。

图1 1号楼复合地基载荷试验 $P-s$ 曲线图2 2号楼复合地基载荷试验 $P-s$ 曲线

1、2 号楼各试桩载荷试验特征参数见表 3。

表 3 1、2 号楼单桩复合地基载荷试验特征参数

楼号	试验编号	工程桩号	工程桩长 /m	设计荷载 /kPa	试验最大荷载 /kPa	总沉降量 /mm	回弹量 /mm	复合地基承载力特征值 /kPa
1 号楼	1	183	7.50			13.66	5.42	377.3
	2	115	7.50			67.54	13.93	116.4
	3	74	7.50			71.94		78.8
	4	69	6.10	210	420	76.33		183.8
	5	25	5.50			68.08	5.81	198.0
	6	274	7.40			20.73	4.11	358.0
	7	317	8.50			37.82	4.59	251.4
2 号楼	1	31	5.00			13.49	4.11	400
	2	16	5.50	210	420	11.17	2.60	420
	3	78	8.50			34.90	7.85	290

注:当 1 号楼 3 号桩试验荷载加至 275.1 kN 时,桩顶的总沉降量已大于其宽度的 6%,故终止了加载。

根据岩土工程勘察报告,1 号楼东北地段 183、274、317 号桩和 2 号楼所在的位置桩间土上段为厚度 3.00~4.50 m 松散状素填土,下段为厚度 1.40~3.90 m 软塑状淤泥质粉质粘土,桩端土为硬塑状粉质粘土。由复合地基静载荷试验结果表明,1 号楼 183、274、317 号桩和 2 号楼 31、16、78 号桩单桩复合地基承载力特征值均大于 210 kPa,满足设计要求。在这种岩土条件下,采用 CFG 桩复合地基处理方案是适宜的。

1 号楼西南地段 115、74、69、25 号桩所在位置桩间土上部由软塑状粉质粘土组成,厚 1.50~3.00 m;下部为可塑状表层粘土,厚 1.00~1.70 m,桩端土为硬塑状粉质粘土。根据单桩复合地基载荷试验结果,其承载力特征值  $f_{spk} < 210$  kPa,未满足设计要求。但经采用低应变法检测,所检测桩波形较清晰,桩底反射明显,桩身结构基本完整,桩身混凝土质量较好。

由于软塑状粉质粘土具有触变性和高压缩性等特征,CFG 桩在成桩过程中,原状软土受到振动荷

载以后,土体结构遭受破坏,软土的应力状态发生改变,导致了本来强度就低的桩间土承载力和桩侧阻力急剧下降,故桩间土提供的桩侧阻力很小,因而上部结构荷载绝大部分由桩端土来承担。由此可见,上部存在软塑状态的桩间土不宜采用 CFG 桩复合地基处理方案,否则只能增加桩端进入持力层的深度。

#### 4 结语

通过上述工程实例,对 CFG 桩在软弱地基的应用和复合地基的检测分析,得出以下几点认识和体会:

(1)对桩间土上段或基底持力层存在软塑、流塑状态的地基土不宜采用 CFG 桩复合地基处理方案;

(2)多层或高层建筑采用 CFG 桩复合地基处理方案时,必须认真阅读岩土工程勘察报告,做到心中有数,并依据场地岩土工程条件进行设计;

(3)在进行 CFG 桩复合地基设计时,必须满足上部结构对复合地基承载力和变形的要求,同时还要满足桩和桩间土的变形协调;

(4)CFG 桩复合地基施工时,须严格按照规范规程和设计要求,确保成桩质量,防止人为造成断桩。

#### 参考文献:

- [1] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [2] JGJ 94-94,建筑桩基技术规范[S].
- [3] 编写委员会.工程地质手册(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [4] 李燎京,等.CFG 桩复合地基问题[J].岩土工程技术,2004,(6):271-274.
- [5] 张作清,等.CFG 桩复合地基在工程中的应用[J].南方国土资源,2006,(7):33-34.