

回填碾压地基的 CFG 桩加固工程

李江

(建设综合勘察研究设计院有限公司,北京 100007)

摘要:针对回填碾压地层条件,选择高置换率 CFG 桩复合地基方案进行地基处理。利用合理的复合地基构造形式,改善其受力特性,充分发挥桩体和桩间土的承载能力,达到了提高地基承载力、减少地基沉降的工程效果,取得了良好的经济技术效益。

关键词:回填碾压;CFG 桩;复合地基;高置换率;承载力

中图分类号:TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)01-0082-03

CFG Pile Consolidation for Backfill Rolling Compacted Foundation/LI Jiang (China Institute of Geotechnical Investigation and Surveying, Beijing 100007, China)

Abstract: According to the conditions of backfill rolling compacted foundation, CFG pile composite foundation with high replacement ratio was selected. With the rational structure form of composite foundation, the mechanical characteristics were improved for obtaining full bearing capacity of the pile and the soil between piles to increase the capacity of the foundation and reduce the foundation settlement.

Key words: backfill rolling compaction; CFG pile; composite foundation; high replacement ratio; bearing capacity

1 项目概况

1.1 工程简介

拟建场地位于北京市亦庄经济技术开发区内,新建生产及办公用房。其中厂房为单层轻钢结构,采用独立柱基础,埋深 -2.00 m(相对 ±0.00 m)。办公用房为框架结构,地上 10 层、地下 1 层,采用筏板基础,埋深 -3.50 m(相对 ±0.00 m)。

1.2 场地地质工程条件

拟建场地位于北京东南部,原有取土深坑后作为渣土消纳场地进行回填。场地内地形基本平坦,略有起伏,总体地形趋势是北侧低南侧高、最大高差约 1.03 m,东西方向基本平坦。

根据勘察报告,拟建场地内的主要地层为填土层、新近沉积层和一般第四纪沉积层 3 大类,分述如下。

第一类填土层主要是:①杂填土,主要为建筑垃圾和生活垃圾,土质松散、极不均匀,分布地段凌乱,深度不一,最深处达 5 m 且位于办公楼范围内。

第二类新近沉积层主要是:②₁粉质粘土,土质不均,中~高压缩性;②₂粘土,含云母、氧化铁和少量有机质,土质不均,中~高压缩性;②₃粉土,中压缩性,局部缺失;②₄粉细砂,砂质不均,低压缩性,局部

缺失。

第三类第四系沉积层主要是:③细砂,中密,砂质较均匀,低压缩性;④中砂,密实,砂质较均匀,低压缩性。勘察未揭穿该层。

根据勘察报告,场地内分布 2 层地下水。第一层地下水为潜水,稳定水位埋深 6.00~7.00 m;第二层地下水为层间水,稳定水位埋深 17.00~18.00 m。这两层地下水对混凝土结构均具微腐蚀性,在干湿交替情况下对钢筋混凝土中的钢筋均具弱腐蚀性。

1.3 结构设计要求

单层轻钢结构厂房采用天然地基方案(遇填土换填),办公楼范围几乎都是渣土坑,范围大深度深,局部超过了基础埋深。设计进行了基础形式的比选,一种方案是将杂填土全都挖除并换填整平,然后加深基础或改为地下 2 层;另一种方案是开挖回填,并碾压密实后打 CFG 桩,结构形式不变。最终后一方案造价更低,确定选择 CFG 桩复合地基,并提出相关要求为:处理后的复合地基承载力特征值 <260 kPa;最大沉降量 <5 cm。

2 复合地基设计总体思路

2.1 工序思路

收稿日期:2013-09-04

作者简介:李江(1978-),男(汉族),重庆人,建设综合勘察研究设计院有限公司,国家注册岩土工程师,水文地质与工程地质专业,从事岩土工程相关的各类技术服务工作,北京市东城区东直门内大街 177 号 526 室,lij@cigis.com.cn。

任何设计方案的提出,必须要以实践能力为前提,并且要遵循工程经验和惯例。根据设计条件,本项目的地基施工工序很清晰,即挖土→回填碾压→CFG桩施工→验收。由于拟建场地开阔,周边没有影响地基基础施工的建筑物和地上、地下障碍物,加之开挖深度内也没有地下水的影响,所以施工条件非常好,施工难度也不大。确定这样的施工顺序和工艺,一定能收到高效、优质的施工效果。

2.2 技术思路

基于上述工序思路,复合地基设计的技术思路也相应形成,主要是2个重点:一是控制回填碾压质量;二是做好CFG桩施工。这2个重点必须同时抓好,缺一不可。因为回填碾压是整个工程的基础步骤,回填土的质量直接关系到CFG桩的设计和施工,桩体的侧摩阻力、桩间土的承载能力、复合土体的压缩性等,这些直接影响整个复合地基安全性和适用性的关键条件,都受制于回填土的物理力学性质,而这些性质完全取决于回填碾压的质量。因此,在进行设计时必须把这一步做到万无一失,否则后序工作就是“空中楼阁”,没有根基。

3 换填碾压设计方案

3.1 基本设计参数

(1)根据勘察报告开挖深度3.50~4.60 m,以现场实地查验为准。

(2)采用素土(粉质粘土)分层(每层0.50~0.80 m)回填压实,土质应符合《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)的要求;回填施工按照相关规范进行。

(3)大面积的回填压实工作采用压路机分层碾压,小范围的区域采用人工、小型机械夯实,施工时应配合钎探试验确定施工参数。

(4)回填压实后的土层,其承载力要求不低于80 kPa。回填土质量检验采用密实度试验和钎探测试两种方法。

(5)密实度试验采用环刀法分层取样,要求压实系数 $\leq 0.95^{[5]}$;钎探测试采用标准钎、分层机械触探,贯入击数要求 > 14 击^[6]。

(6)换填至设计桩顶标高以上500 mm,开始打桩,预留的保护土层随桩间土一同清理。

3.2 采用钎探测试的原因

本次换填碾压施工的质量检验采用钎探测试,要求击数 > 14 击,主要依据如下。

(1)本次回填的土层作为复合地基的桩间土,

不是单独作为基础持力层;因回填后还将进行打桩,最终由(桩+土)复合地基共同承担上部荷载,因此其检验方法与普通换填工作有区别。

(2)CFG桩设计方案要求桩间土承载力达到80 kPa,这样复合地基才能满足260 kPa的设计要求,所以首先必须保证回填土的80 kPa承载力。按《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202-2002),若单纯采用压实系数指标进行检验,该指标是一个物理性质指标,只能反映土的密实情况,但与承载力之间没有明确的对应关系,无法通过压实系数来判定承载力是否满足80 kPa的要求。

(3)根据《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》(BDJ 501-11-2009)第7.3.4-6条,对于素填土采用 N_{10} 钎探进行承载力评价,其击数 < 14 击可满足承载力 > 80 kPa要求。

(4)必须在保证桩间土的承载力,进行打桩施工后才能最终确保复合地基承载力满足要求。

3.3 换填碾压质量检验

按照设计方案进行换填碾压施工后,分层进行了压实系数试验和钎探试验,试验结果表明:分层回填碾压的土层,压实系数试验结果为0.95~0.97,钎探测试结果为17~26击,均满足设计要求。

4 CFG桩设计方案

4.1 高置换率

在完成换填碾压后,回填土具备了一定的承载能力,其物理性质也得到进一步改善,根据压实系数试验和钎探测试的结果,结合工程经验综合判断回填土的承载力取值80 kPa、压缩模量取值4.0 MPa是可行的。但其并未满足设计要求,主要的加固对象仍是这层回填土。

考虑到回填土深度不小,其下部已经基本直接接触③细砂层,且该砂层的厚度约5 m,下卧地层也是力学性质很好的④中砂层,所以选择这2层砂土作为桩端持力层都是适宜的,但桩长与对应的面积置换率成反比关系。

为了最大限度降低因填土的不均匀性带来的不利影响,考虑用CFG桩来最大限度地置换填土,从而在桩与土形成的复合土体中提高桩所占的比例,也就相应提高了桩所分担的荷载比例,降低土所分担的荷载比例,尽量不造成土体的过度承载。同时,在较高的置换率条件下,桩与填土组成的复合土体由于混凝土材料占比较高,从材料组成上为其变形特性提供了有利保障,所以最终选择有效桩长为

7.00 m。

4.2 褥垫层厚度

CFG 桩复合地基通常会设置褥垫层,厚度一般为 15~30 cm,材料通常为碎石或级配砂石等散体材料。在基础下设置柔性垫层,一方面可增加桩间土承担荷载的比例,较充分地利用桩间土的承载潜能;另一方面可改善桩体上端的受力状态,调节桩和桩间土的应力分担和变形协调。业界针对褥垫层的厚度与复合地基承载特性进行了大量研究,获得了大量规律和经验。当褥垫层厚度越厚,桩土荷载分担比越小,也就是桩体承担的荷载比例越低,反之就越高^[8]。对本工程而言,恰恰就是要提高桩体所承担的荷载比例,最大限度减小桩间土分担的荷载,这样填土在承载能力上的缺陷得以弥补;同样由于分担的荷载小些,发生的变形也相对小些,对整体复合地基的变形也是有利的。在整理借鉴了多项针对褥垫层厚度与复合地基特性所进行的试验、研究经验后,设计了 8 cm 厚度的褥垫层。

4.3 承载力和变形计算复核

根据 CFG 复合地基设计的计算公式^[3]:

$$\text{单桩承载力特征值 } R_a = U_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + q_p A_p$$

$$\text{有粘结强度增强体复合地基承载力特征值 } f_{spk} = m R_a / A_p + \beta(1 - m) f_{sk}$$

在以上 2 个公式中,根据经验,回填土的侧摩阻力特征值 q_s 取 15 kPa,用于计算单桩承载力特征值;桩间土的承载力特征值 f_{sk} ,取值 80 kPa。经计算,正方形布桩间距为 1.20 m × 1.20 m,面积置换率约 0.087。

同时根据公式: $s = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \alpha_i - z_{i-1} \alpha_{i-1})$ ^[4],和其它相关规定,对复合地基进行变形验算,回填土的压缩模量取值 4.0 kPa。经验算,复合地基最大沉降量 3.5 cm,理论计算满足设计要求。

5 检测及监测结果

5.1 检测结果

CFG 桩施工完毕后,进行复合地基承载力及桩身完整性检测。其中承载力检测采用单桩复合地基载荷试验方法,载荷板的面积 1.20 m × 1.20 m,最大试验荷载 520 kPa(折合 750 kN);采用慢速维持荷载法分 8 级加载。检测结果为:当加载至最大荷

载 520 kPa 时, $p \sim s$ 曲线未出现明显拐点,各级沉降量较均匀,总沉降量均未超过规范允许值;且各试验点加载至 260 kPa 所对应的 s/b 值均 < 0.01 。判定单桩复合地基承载力特征值 < 260 kPa,满足设计要求^[3]。

桩身完整性检测采用低应变反射波法,试验数量为总桩数的 10%。检测结果为:受检的全部 CFG 桩,桩身连续、完整,属于 I、II 桩,判定为合格^[7]。

5.2 监测结果

CFG 桩施工于 2011 年 10 月竣工,2012 年 11 月结构封顶。沉降观测结果表明,结构施工期间及封顶后至此文截稿时的沉降值均较小(13~22 mm 范围),且很快趋于稳定,满足设计要求。

6 结语

(1) 回填碾压质量控制。因本工程中回填土必须作为桩间土承担上部荷载,因此对其回填质量的控制必须十分严格。同时也因为对其承载力的要求,必须选择能够检验回填土承载能力的方法。本实例中选用压实系数和钎探测试 2 种方法,分别检验回填土的物理指标和力学指标,是周全、合理的选择。

(2) 高置换率 CFG 桩。考虑到填土的不均匀,采用高置换率方案,一方面从受力的平面分布上降低了复合土体内填土面积占比,从复合地基的构造形式上削弱了填土的不利影响;另一方面在置换率较高时桩土应力比较大,即桩体承担的荷载较高,从而减轻了桩间土(填土)分担的荷载,尽量使其少受力、少变形,从复合地基受力特性上降低了填土的不利影响。

参考文献:

- [1] 编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [2] 编委会. 地基处理手册(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [4] GB 50007-2011, 建筑地基基础设计规范[S].
- [5] DBJ 11-501-2009, 北京地区建筑地基基础勘察设计规范[S].
- [6] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [7] JGJ 106-2003, 建筑基桩检测技术规范[S].
- [8] 徐至钧. 水泥粉煤灰碎石桩复合地基[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.