

水泥粉煤灰碎石桩复合地基及其应用

董淑科

北京现代金宇岩土工程有限公司, 北京 101000

[摘要]天然地基通过地基处理加固对地基层进行强化结构形成复合地基来改善地层的稳定性提高承载力,复合地基处理技术,经过多年的实践发展,它的实际应用已趋成熟,施工工艺的选择,施工设备的运用等施工设计思想应运而生。

[关键词]水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)复合地基处理;柔性褥垫层;桩体承载力;降低工程造价

DOI: 10.33142/aem.v5i3.8197

中图分类号: TU352

文献标识码: A

Cement Fly Ash Gravel Pile Composite Foundation and Its Application

DONG Shuke

Beijing Modern Jinyu Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing, 101000, China

Abstract: Natural foundation is reinforced by foundation treatment to form a composite foundation that improves the stability and bearing capacity of the stratum. After years of practical development, the practical application of composite foundation treatment technology has become mature, and construction design ideas such as the selection of construction technology and the use of construction equipment have emerged.

Keywords: cement fly ash gravel pile (CFG pile) composite foundation treatment; flexible mattress layer; pile bearing capacity; reducing project costs

引言

中国建筑科学院在20世纪80年代在碎石中掺入一定量的石硝、粉煤灰、和少量水泥,拌合成一种黏结强度较高的桩体,称之为水泥粉煤灰碎石桩(简称CFG桩)。CFG桩与桩间土、碎石褥垫层一起构成CFG桩复合地基。特别是近年来,随着CFG桩复合地基技术的日趋完善,它已成为地基处理的有效手段。本文通过分析CFG桩复合地基处理方法,施工优缺点以及处理后的经济效益。由此表述CFG桩在实际施工中的社会应用。

1 CFG桩的作用机理

1.1 挤密作用

CFG桩在成桩过程中,还需要单独加水,桩体材料在水化时具有吸水、发热和膨胀的作用,使得周围土体达到固结密实,从而提高了地基的稳定性。

1.2 置换作用

CFG桩是具有黏结强度的桩体,桩体强度宜设置为C10~C25。在上部竖向荷载作用下,桩体的压缩性明显比桩间土小,大部分荷载由桩体承担,桩间土应力相应减少,于是复合地基承载力较原地基有很大提高,沉降亦有所降低,桩体应力比可达2~20。

1.3 碎石褥垫层作用

在上部荷载作用下,CFG桩复合地基由于碎石褥垫层的作用,桩体逐渐向褥垫层渗入,桩体上部垫层材料在受压缩的同时,向周围发生流动;垫层材料的流动补偿使得桩间土与基础底面始终保持接触并使得桩间土的压缩增

大,从而使得桩间土的承载力得以充分发挥,桩土共同作用得到保证

2 CFG桩复合地基的设计

CFG桩设计包括内容:

- (1)平面布置:桩位布置在基础受力影响范围内,一般考虑矩形布置亦可采用梅花形布置、三角形布置。
- (2)桩间距:桩间距的大小取决于地基承载力要求,施工工艺,土性。宜(3~6)倍的桩径。
- (3)桩径:桩径一般为350~600mm,设计通常选用400mm。
- (4)桩长:根据地层情况,结合经济因素,桩端应位于承载力相对较高的地层上。
- (5)桩体强度:一般桩体强度宜为C15~C25。考虑到现场施工因素,通常选用标号为C20混凝土。
- (6)桩顶褥垫层:褥垫层厚度控制在10~30mm为宜。褥垫层材料选用碎石、级配砂石,粒径保证不大于30mm。

3 CFG桩的工程应用

3.1 工程概况

本设计工程位于顺义区潮白河附近,建筑面积长93.0m,宽17.7m,地下三层,地上十五层,采用筏板基础,上部为框架结构。基础埋深4.20m。

设计要求复合地基承载力特征值为350kPa,基础最终沉降量不得大于80mm,整体倾斜不得超过千分之二。

3.2 地层信息

勘探深度范围内的地层,按成因类型、沉积年代可划

分为人工堆积层、新近沉积层及第四纪沉积层三大类,并按岩性及工程特性进一步划分为8个大层及亚层,现分述如下:

地表0.40m~2.70m内为人工堆积的黏质粉土填土、粉质黏土填土①层,房渣土①1层。

以下为新近沉积的粉质黏土、重粉质黏土②层,黏质粉土、砂质粉土②1层,黏土、重粉质黏土②2层,砂质粉土、黏质粉土②3层。该层为基地持力层天然承载力标准值 $f_{ka}=110\text{KPa}$ 。

以下为第四纪沉积的砂质粉土③层,粉质黏土③1层,粉砂、细砂③2层;粉砂、细砂④层,粉质黏土、重粉质黏土④1层,黏质粉土④2层;细砂、中砂⑤层,粉质黏土、黏质粉土⑤1层;该层为CFG桩端持力层。

粉质黏土、重粉质黏土⑥层,黏质粉土、砂质粉土⑥1层;粉砂、细砂⑦层,黏土、重粉质黏土⑦1层,粉质黏土、黏质粉土⑦2层;粉砂、细砂⑧层,重粉质黏土、黏土⑧1层。

3.3 设计方案选择

住宅楼基底在承载力较软的粉质黏土层,该层为新近沉积层,地基土承载力差,无法满足设计要求。且该项目在人员较密集区域,环保施工要求高,施工工艺选择难度大,经过深度论证,决定采用施工无污染,施工工艺成熟,成桩效率高的CFG桩复合地基处理方法。

3.4 CFG桩复合地基设计与计算

3.4.1 CFG桩复合地基设计

筏板基础范围内采用矩形满堂布设,桩间距1.25×1.25m,面积置换率 $m=0.084$ 。

桩径 $\Phi=410\text{mm}$,桩长18.0m,桩端持力层在细砂、中砂⑤层上。

设计CFG桩桩身强度为C20,桩体材料采用预拌商品混凝土。

CFG桩施工完毕后,在桩顶铺设碎石褥垫层,级配最大粒径不得大于30mm,褥垫层铺设宜采用静力压实法,要求夯填度不得大于0.9。

3.4.2 CFG桩复合地基承载力计算

(1) 单桩竖向承载力标准值计算

由《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》式11.5.4-2

$$R_v = u_p \sum q_{si} l_i + q_p A_p$$

式中:

u_p —— 桩的周长(m), $u_p = 1.2881\text{m}$

q_{si} 、 q_p —— 桩周第*i*层土地侧阻力、桩端端阻力标准值(kPa)

l_i —— 第*i*层土的厚度(m)

A_p —— 桩的截面积(m^2), $A_p = 0.1320\text{m}^2$

$$R_v = 1.2881 \times$$

$$(20.00 \times 0.38 + 22.50 \times 2.20 + 22.50 \times 1.70 + 27.50 \times 2.00 + 27.50 \times 5.50 + 25.00 \times 0.80 + 30.00 \times 5.42) + 0.1320 \times 500.00 = 689.69 \text{ kN}, \text{实际计算取值 } 600.00 \text{ kN}$$

由《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》式11.5.4-3

$$4 \frac{R_a}{A_p} = 4 \times \frac{1.00 \times 600.00}{0.1320} = 1818.182 \text{ kPa} = 18.18 \text{ MPa}$$

桩体试块抗压强度平均值 $f_{cu} = 20.00 \text{ MPa}$

$f_{cu} > 4 \frac{R_a}{A_p}$ 桩身砼强度满足规范要求。

(2) 面积置换率计算

由《建筑地基处理技术规范》式7.1.5-2

$$m = \frac{d^2}{d_e^2} \text{ 计算}$$

d —— 桩身平均直径, $d = 0.41\text{m}$

d_e —— 一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径

$$d_e = 1.13 \sqrt{s_1 s_2} = 1.13 \times \sqrt{1.25 \times 1.25} = 1.41\text{m}$$

s_1 、 s_2 —— 桩X向间距、Y向间距, $s_1 = 1.25\text{m}$, $s_2 = 1.25\text{m}$

$$m = \frac{d^2}{d_e^2} = \frac{0.41^2}{1.41^2} = 8.43\%$$

(3) 复合地基承载力计算

由《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》式11.5.4-1

$$f_{spa} = m f_{pa} + \beta (1-m) f_{sa}$$

式中

$f_{pa} = \frac{R_v}{A_p}$, 单桩单位面积竖向承载力标准值(kPa)

$$f_{pa} = \frac{689.69}{0.1320} = 5223.90 \text{ kPa}$$

f_{spa} —— 复合地基承载力标准值(kPa)

m —— 面积置换率, $m = 8.43\%$

R_v —— 单桩竖向承载力标准值, $R_v = 600.00 \text{ kN}$

β —— 桩间土承载力折减系数, $\beta = 0.90$

f_{sa} —— 处理后桩间土承载力标准值(kPa), 取天然地基承载力标准值, $f_{sa} = 110.00 \text{ kPa}$

$$f_{spa} = m f_{pa} + \beta (1-m) f_{sa}$$

$$= 0.0843 \times 5223.90 + 0.90 \times (1 - 0.0843) \times 110.00 = 530.79 \text{ kPa}$$

$p_k = 350.00 \text{ kPa}$ $p_k < f_{sa}$, 满足要求

3.4.3 复合地基变形验算

(1) 计算基础底面的附加压力

荷载效应准永久组合时基础底面平均压力为:

$$p_k = 350.00 \text{ kPa}$$

基础底面以上土地加权平均重度(地下水位下的重度

取浮重度)

$$\gamma_0 = \frac{\sum \gamma_i h_i}{\sum h_i} = \frac{17.40 \times 1.25 + 19.40 \times 1.82}{1.25 + 1.82} = 18.59 \text{ kN/m}^3$$

基础底面自重压力为:

$$p_z = \gamma_0 \times d = 18.59 \times 3.07 = 57.06 \text{ kPa}$$

基础底面的附加压力:

$$p_0 = p_k - p_z = 350.00 - 57.06 = 292.94 \text{ kPa}$$

(2) 确定沉降计算深度

沉降计算深度按土层附加压力等于自重应力 20% 由程序自动确定 $D_p = 33.03 \text{ m}$ 。

(3) 确定沉降计算经验系数 ψ_s

由沉降计算深度范围内压缩模量的当量值 \bar{E}_s 可由 ψ_s 按《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012 表 7.1.8 的沉降计算经验系数:

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}}$$

$$A_i = p_0 (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})$$

式中 A_i 为第 i 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值
 $\sum A_i = 19.29 p_0$

$$\sum \frac{A_i}{E_{si}} = p_0 \times \left(\frac{0.381}{23.40} + \frac{2.190}{36.72} + \frac{1.649}{20.16} + \frac{1.829}{57.60} + \frac{4.226}{108.00} + \frac{0.519}{22.68} + \frac{3.343}{115.20} + \frac{1.535}{9.50} + \frac{1.223}{35.00} + \frac{0.421}{9.50} + \frac{0.170}{16.90} + \frac{0.524}{35.00} + \frac{0.220}{10.00} + \frac{1.064}{35.00} \right) = p_0 \times (0.02 + 0.06 + 0.08 + 0.03 + 0.04 + 0.02 + 0.03 + 0.16 + 0.03 + 0.04 + 0.01 + 0.01 + 0.02 + 0.03) = 0.60 p_0$$

$$E_s = \frac{19.29 p_0}{0.60 p_0} = 32.22 \text{ MPa} \quad p_0 = 292.94 \text{ kPa} \quad \psi_s$$

按《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012 表 7.1.8, 用插入法得: $\psi_s = 0.209$ 。

(4) 最终的沉降量

$$s = \psi_{ssc} = 0.209 \times 175.39 = 36.66 \text{ mm}$$

4 CFG 桩复合地基的施工

4.1 CFG 桩材料

CFG 桩桩身强度等级为 C20 商品混凝土, 塌落度 18~20cm。

4.2 CFG 桩施工程序

CFG 桩施工程序图如下:

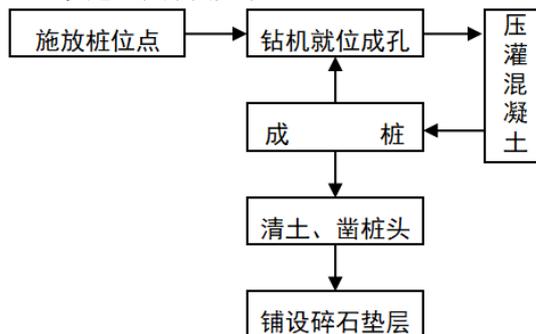


图1 CFG 桩施工程序图

5 地基处理效果检测

施工完成满足检测周期后, 由第三方质量检测机构对该地基处理进行检测, 结果如下:

5.1 桩身完整性

该项目共抽取 82 根 CFG 桩。抽测率 10%, 检测合格率 100%。均为 I 类桩。

5.2 单桩、复合地基承载力

随机抽测了 5 根桩做了复合地基静荷载试验, 随机抽测 4 根单桩进行竖向抗压静载试验。试验结果依据规范《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012 中第 B.0.10、B.0.11 条的规定, 该工程 CFG 桩复合地基特征值满足设计要求。依据规范《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012 中第 C.0.9、C.0.10 和 C.0.11 条的规定, 该工程单桩竖向抗压承载力特征值满足设计要求。

[参考文献]

- [1] 张智荣. CFG 桩复合地基的设计与施工[J]. 山西建筑, 2009, 33(35): 8-9.
 - [2] 黄尚林, 谢先康. 浅谈 CFG 桩在公路工程中的应用[J]. 湖南交通科技, 2006, 4(32): 6-9.
 - [3] 殷亮, 张美渊. CFG 桩复合地基的工程应用[J]. 陕西建筑, 2009(168): 7-9.
 - [4] 薛妙琳. 浅议 CFG 桩复合地基及其应用[J]. 山西建筑, 2009, 22(35): 7-9.
- 作者简介: 董淑科(1986.7-), 毕业院校: 西安工业大学, 所学专业: 土木工程当前就职单位: 北京现代金宇岩土工程有限公司, 职务: 技术负责人, 职称级别: 中级。