

文章编号:1673-9468(2008)04-0029-04

碎石与 CFG 两桩型复合地基工作性能分析

袁洪升¹,常海芹²,史三元¹

(1.河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038;2.邯郸市交通局,河北 邯郸 056000)

摘要:为验证多桩型复合地基理论分析的正确性和实践应用的有效性,本文在工程运用的基础上进行了碎石与 CFG 两桩型复合地基的工作性能分析,提出了合适的理论和分析计算方法。并通过工程实例得出:碎石与 CFG 两桩型复合地基具有提高地基承载力和消除地震液化的双重作用,且具有经济、环保的特点。

关键词:碎石桩;CFG 桩;碎石与 CFG 两桩型复合地基

中图分类号: TU472

文献标识码: A

The working performance analysis of gravel - CFG - pile composite foundation

YUAN Hong-sheng¹, CHANG Hai-qin², SHI San-yuan¹

(1. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;

2. Department of Transportation of Handan, Handan 056001, China)

Abstract: In order to verify the basic theory of multi - type - pile composite foundation and effectiveness in practice, this paper presents the operating principle and analyses the performance of gravel - CFG - pile composite foundation based on engineering application. It is concluded that gravel - CFG - pile composite foundation can both enhance the bearing capacity of natural ground and repair earthquake liquefaction, and economical efficiency and environmental protection sex are also it's advantages. As with all things, the procedure shown here is helpful to design building in similar fields for architects.

Key words: gravel pile; CFG pile; the composite foundation of gravel - CFG - pile

在工程建设中遇到场地土具有承载力低,压缩性高以及地震液化时,可以采用碎石与 CFG 两桩型复合地基来进行处理。利用碎石桩的良好排水能力解决地基土的液化问题,并对浅层高压缩性土进行加固;利用 CFG 桩支撑到深层持力层来进一步提高地基承载力和控制变形,这样处理过的地基就具有了比较好的承载和抗震性能。

关于多桩型复合地基的理论计算,龚晓南^[1]以长短桩的形式进行了阐述,而朱奎、徐日庆^[2]则以刚柔桩的形式来表达,均为大家所普遍接受。但是,其实际应用与理论发展的具体结合仍然很少,尤其是具体到什么桩型组合能解决什么问题,对于工程实践结果的总结还很不够。基于以上,本文对碎石与 CFG 两桩型复合地基的适用理论进行了探讨,并结合工程实例予以验证,为碎石与 CFG 两桩型复合地基的应用发展积累经验。

1 地基承载力计算

碎石与 CFG 两桩型复合地基中 CFG 桩一般较长,碎石桩较短,在复合地基中形成三个不同的工作区域,加固区 I、加固区 II 和非加固区,如图 1 所示。加固区 I 是以提高浅层地基承载力为主的长短桩联合工作区;加固区 II 是以提高复合地基承载力和减少沉降量为主的长桩工作区;未加固区是承受桩体荷载的持力土。三个区域共同工作。CFG 长桩的刚度大,主要作用是将荷载通过桩身向地基深处传递,减小压缩土层的变形,同时对柔性碎石桩起到护桩的作用;碎石桩有两方面的作用:一是对浅层软土地基进行加固;二是构造一个排水的通道,加速饱和土或软土地基的排水固结,并在地震时减小饱和粉土或砂土地基的液

收稿日期:2008-10-16

作者简介:袁洪升(1978-),男,河北吴桥人,硕士研究生,从事结构工程方面的研究。

化势,以减小地震危害。

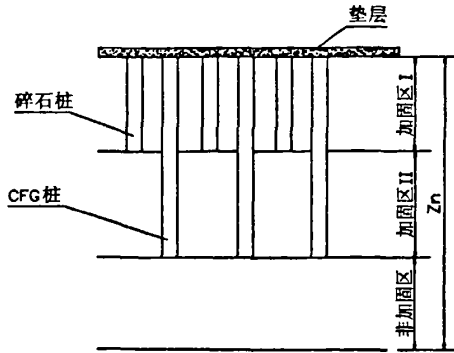


图1 复合地基剖面图

Fig. 1 Sectional drawing of composite foundation

复合地基承载力计算公式基本思路为:由天然地基和短桩复合形成复合地基,视为一种新的等效天然地基;将等效天然地基视为“桩间土”和长桩复合形成复合地基,求得单一桩型复合地基承载力。则复合地基的承载力为

$$f_{pk} = m_1 \frac{R_a}{A_p} + \beta_1 m_2 f_{sk} + \beta_2 (1 - m_1 - m_2) f_{ak} \quad (1)$$

式中 f_{sk} —碎石桩复合地基承载力,由公式(2)确定; m_1 、 m_2 —CFG桩和碎石桩的面积置换率; R_a —CFG桩的单桩承载力特征值,可由公式(4)计算; A_p —长桩的截面积; f_{pk} 、 f_{ak} —复合地基、天然地基承载力特征值; β_1 —碎石桩强度发挥系数,取 0.6~0.8; β_2 —桩间土强度发挥系数,取 1.0。

其中,碎石桩复合地基的承载力特征值 f_{sk} 由下式确定

$$f_{sk} = m_2 f_{pk} + (1 - m_2) f_s \quad (2)$$

式中 f_{pk} —碎石桩的承载力特征值,宜通过单桩载荷试验或公式(3)确定

$$f_{pk} = 20.75 c_u / K \quad (3)$$

式中 c_u —桩间土的不排水抗剪强度; K —安全系数,一般取 1.0~1.2。

CFG桩单桩的承载力特征值,可由载荷试验确定或由(4)式计算确定

$$R_a = (U_p \sum q_{ni} h_i + q_p A_p) / K \quad (4)$$

式中 U_p —桩的周长; q_{ni} —第 i 层土的极限侧摩阻力标准值; h_i —第 i 层土的厚度; q_p —桩端土的极限端阻力标准值; K —安全系数,取 2.0。

2 地基变形计算

两桩型复合地基的变形分为三个部分:第一部分为加固区 I 的沉降量 S_1 ;第二部分为加固区 II 的沉降量 S_2 ;第三部分为未加固区的沉降量 S_3 ,即总沉降量 S 为

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (5)$$

对以上三部分的沉降采用《建筑地基基础设计规范》^[3]中建议的方法进行计算,则两桩型复合地基的沉降为

$$S_c = \Psi (S_1 + S_2 + S_3) \quad (6)$$

$$S_1 = \sum_{i=1}^{n_1} \frac{p_0}{E_{sp1}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (7)$$

$$S_2 = \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{p_0}{E_{sp2}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (8)$$

$$S_3 = \sum_{i=n_2+1}^{n_3} \frac{p_0}{E_{sp3}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (9)$$

式中 S_c —计算沉降量; S_1 、 S_2 、 S_3 —加固区 I、加固区 II 和未加固区的沉降量; Ψ —沉降计算修正系数;可按照《建筑地基基础设计规范》表 5.3.5 取值; p_0 —基础底面的附加压力; E_{sp} —天然土层与桩形成的复合模量或天然土层模量值,加固区不同,则计算公式不同,见公式(10)、(11); Z_i 、 Z_{i-1} —分别为基础底面至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面的距离; $\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ —基础底面计算点至第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面范围内平均附加应力系数,可由《建筑地基基础设计规范》附录 K 查取; n_1 、 n_2 、 n_3 —加固区 I、加固区 II 和未加固区的土层数。

在复合地基中假设桩土共同作用时变形协调,由桩土变形协调条件推导出面积加权公式。图 1 中加固区 I、加固区 II 的复合模量公式如下

$$E_{sp1} = (1 - m_1 - m_2) E_s + m_1 E_{p1} + m_2 E_{p2} \quad (10)$$

$$E_{sp2} = (1 - m_1) E_s + m_1 E_{p1} \quad (11)$$

式中 E_{sp1} 、 E_{sp2} —加固区域 I、加固区域 II 的复合模量; E_{p1} 、 E_{p2} 、 E_s —CFG桩、碎石桩和天然地基土的压缩模量。

地基变形的计算深度 Z_n 应复合(12)式要求。

$$\Delta s_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s_i \quad (12)$$

式中 Δs_i —计算深度范围内,第 i 层土的计算变形值; Δs_n —由计算深度向上取厚度为 Δz 的土层计算变形值; Δz —由《建筑地基基础设计规范》表 5.3.6 确定。

如确定的计算深度下部仍有较软土层时,应继续计算;在计算深度范围内存在基岩时, Z_n 取至基岩表面;当存在较厚坚硬粘性土层,其孔隙比小于 0.5、压缩模量大于 50 MPa,或存在较厚的密实砂卵石层,其压缩模量大于 80 MPa 时,可取至该层土表面。

3 工程实例

3.1 工程概况及方案选择

北京市某工程地下一层,地上 14 层,总高度为 42.8m,基础类型采用筏板基础,基底标高 -4.3m ~ -4.7m,上部结构采用剪力墙结构,设计要求复合地基承载力特征值达到 270kPa,根据勘察报告,拟建场地平坦,在地貌上属于温榆河中下游冲洪积平原,覆盖层厚度大于 50m,各土层基本物理力学性质情况如表 1。

据勘察报告,在 22m 深度范围内有两层地下水,第一层地下水水位埋深 5.0m ~ 5.7m,类型为潜水,第二层地下水埋深 19.10m ~ 21.00m,类型为承压水。近 3 ~ 5 年本场区的最高水位埋深为 3.00m ~ 4.00m。勘察报告结论为:8 度设防,加速度值为 0.20g,地震分组为第一组;场地土类型属于中软土,拟建场地类别为 III 类。场地土粉土②层、粉砂③层会发生液化,液化指数为 7.05 ~ 10.33,液

化等级为中等,需对地基土进行消除液化沉降处理,同时按要求提高地基承载力,减少沉降。

根据以上结论,筏板基础采用碎石与 CFG 两桩型复合地基处理方案,即碎石桩和 CFG 桩共同应用以达到提高地基土承载力和消除土层液化的目的。

3.2 复合地基的设计

碎石桩设计参数。桩长:穿透可液化土层、控制变形及桩尖进入细砂层(相对硬层)不小于 50cm;设计桩长 6.0m,含保护桩头 500mm。桩径:设计桩径 500mm。桩体材料:采用粒径 3 ~ 7cm 的硬质碎石,最大粒径不得大于 10cm。

CFG 桩设计参数。桩长:穿透基底软弱土层、控制变形及桩尖进入持力层⑤细砂层不小于 50cm;设计桩长 9.5m,含保护桩头 500mm。桩径:设计桩径 410mm;桩体材料:C20 砼,塌落度控制在 16cm ~ 20cm。

经计算碎石桩桩土面积置换率取为 6.0%;CFG 桩桩土面积置换率取为 4.0%。碎石桩及 CFG 桩桩间距均为 1.8m,正方形布置。在桩顶和基础之间铺设一层 250mm 厚碎石垫层。

3.3 地基沉降计算

选 3 个代表性点,计算结果如表 2。

表 1 土层物理性质

Tab.1 Parameters of soil layers

土层	沉积时代	f_{sk} (kPa)	E_s^* (MPa)	q_{sk} (kPa)	q_{pk} (kPa)
第①层素填土					
第① ₁ 层杂填土					
第②层粉土	新近沉积层	100	6.5	45	
第② ₁ 层粉砂-细砂	新近沉积层	100		45	
第③层粉砂	新近沉积层	110	7.0	55	1000
第③ ₁ 层粉土	新近沉积层	140	6.0	55	
第④层细砂	新近沉积层	150	18	50	
第⑤层细砂	新近沉积层	180	20	50	1000

注: E_s^* 对应 $p_0 - p_0 + 200$ (kPa)

表 2 沉降计算(mm)

Tab.2 Subsidence results

点号	地基最终 沉降量	平均沉 降量	最大 沉降量	最小 沉降量	最大差异 沉降量	最大差异 沉降点距离	最大倾斜
S ₁	37.83						
S ₂	42.33	38.97	42.33	36.75	5.58	42.9	0.0013
S ₃	36.75						

3.4 静载试验

该试验采用千斤顶反力加载,荷载分级加载值按设计预测值取值,第一级取其2倍,试验时采用慢速维持荷载法。典型的复合地基曲线 $p-s$ 如图2。

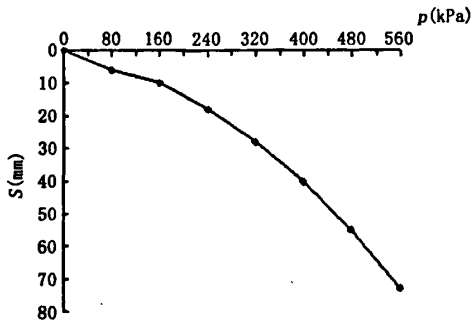


图2 复合地基 $P-s$ 曲线

Fig.2 $P-s$ curve of composite foundation

3.5 检测结果

根据检测报告,处理后的复合地基承载力标准值达到 288kPa,满足 270kPa 的设计要求,最大沉降量 27.16mm,满足设计要求 50mm;通过标准贯入试验,加固后该楼场地钻孔揭露范围内已完全消除液化。

4 结论

1) 碎石与 CFG 两桩型复合地基可以较大幅度的提高地基承载力,并有效的控制地基变形。

2) 碎石与 CFG 两桩型复合地基对消除地基土液化的作用显著。

3) 利用碎石与 CFG 两桩型复合地基对特定工程地质与水文地质条件的地基处理具有显著效果,本设计计算方法与目前专业规范要求相符合。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 复合地基设计和施工指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] 朱奎, 徐日庆. 刚-柔性桩复合地基[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [3] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [4] 史三元, 王皓然. 柔性桩复合地基有效桩长的简化计算方法[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2007, 3(1): 3-5.
- [5] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [6] 吴雄志, 王志军, 葛云海. 水泥土桩单桩承载力影响因素的探讨[J]. 河北建筑科技学院学报, 2004, 21(1): 39-41.

(责任编辑 闫纯有)

(上接第 16 页)

参考文献:

- [1] 雷宏刚. 钢结构事故分析与处理[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2003.
- [2] 陈骥. 钢结构稳定理论与设计(第三版)[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [3] 欧进萍. 结构振动控制-主动、半主动和智能控制[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [4] ANDREW A BERLIN. Towards intelligent structures: active

control of buckling[D]. Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, 1994.

- [5] CHANDRASHEKHARA K, BHATIA K. Active buckling control of smart composite plates - finite - element analysis [J]. Smart Materials and Structures, 1993, (2): 31-39.
- [6] TEFAY MERESSI, BRAD PADEN. Buckling control of a flexible beam using piezoelectric actuators [J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 1993, 16(5): 977-980.

(责任编辑 刘存英)

碎石与CFG两桩型复合地基工作性能分析

作者: [袁洪升](#), [常海芹](#), [史三元](#), [YUAN Hong-sheng](#), [CHANG Hai-qin](#), [SHI San-yuan](#)
作者单位: [袁洪升, 史三元, YUAN Hong-sheng, SHI San-yuan \(河北工程大学, 土木工程学院, 河北, 邯郸, 056038\)](#), [常海芹, CHANG Hai-qin \(邯郸市交通局, 河北, 邯郸, 056000\)](#)
刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2008, 25 (4)

参考文献(6条)

1. [龚晓南](#) [复合地基设计和施工指南](#) 2003
2. [朱奎](#); [徐日庆](#) [刚-柔性桩复合地基](#) 2007
3. GB 50007-2002. [建筑地基基础设计规范](#)
4. [史三元](#); [王皓然](#) [柔性桩复合地基有效桩长的简化计算方法](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2007 (01)
5. [叶书麟](#) [地基处理工程实例应用手册](#) 1998
6. [吴雄志](#); [王志军](#); [葛云海](#) [水泥土桩单桩承载力影响因素的探讨](#)[期刊论文]-[河北建筑科技学院学报](#) 2004 (01)

本文读者也读过(10条)

1. [佟建兴](#); [闫明礼](#) [碎石桩复合地基有效桩长试验研究](#)[会议论文]-2006
2. [杨孝](#) [后压浆 CFG 桩复合地基施工技术分析](#)[期刊论文]-[河南建材](#)2010 (6)
3. [闫雪峰](#); [闫明礼](#) [复合地基沉降计算的复合模量探讨](#)[会议论文]-2000
4. [史三元](#); [郭周超](#); [商冬凡](#); [边智慧](#); [SHI San-yuan](#); [GUO Zhou-chao](#); [SHANG Dong-fan](#); [BIAN Zhi-hui](#) [超声法结合钻芯法检测大体积混凝土内部缺陷](#)[期刊论文]-[混凝土](#)2011 (4)
5. [史三元](#); [郭周超](#); [边智慧](#); [商冬凡](#); [SHI Shan-yuan](#); [GUO Zhou-chao](#); [BIAN Zhi-hui](#); [SHANG Dong-fan](#) [增大超声测距在大体积混凝土结构检测中的应用研究](#)[期刊论文]-[建筑科学](#)2011, 27 (5)
6. [周书敬](#); [薄涛](#); [史三元](#); [ZHOU Shu-jing](#); [BO Tao](#); [SHI San-yuan](#) [混合算法在轻钢结构优化设计中的应用](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2011, 28 (2)
7. [胡启平](#); [史三元](#) [变截面芯筒-框架结构受扭简化计算](#)[期刊论文]-[煤矿设计](#)2001 (3)
8. [刘金荣](#); [史三元](#) [变截面门式刚架的几何非线性性能](#)[期刊论文]-[河北建筑科技学院学报\(自然科学版\)](#)2004, 21 (1)
9. [史三元](#); [杨砚宗](#); [王浩然](#); [SHI San-yuan](#); [YANG Yan-zong](#); [WANG Hao-ran](#) [垫层对载荷试验成果影响的试验分析](#)[期刊论文]-[煤炭工程](#)2008 (7)
10. [李巨文](#); [史三元](#); [王世飞](#) [两厂房基础下沉的调查与分析](#)[期刊论文]-[四川建筑科学研究](#)2000 (2)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200804009.aspx