

CFG 桩复合地基问题

李棕京¹ 化建新²

(1. 福建省福建信息职业技术学院, 福建福州 350019; 2. 中兵勘察设计研究院, 北京 100053)

【摘要】对 CFG 桩复合地基设计、施工和检测问题进行了探讨, 提出了 CFG 桩复合地基亟待研究的问题。

【关键词】CFG; 复合地基; 设计; 施工; 检测

【中图分类号】TU 472

Study on the Composite Foundation of CFG Pile

Li Liangjing Hua Jianxin

(1. Fujian College of Information Professional Technology, Fujian Fuzhou 350019;

2. China Ordnance Industry Institute of Geotechnical Survey & Design, Beijing 100053 China)

【Abstract】A series problems about the composite foundation of CFG pile are studied, such as design, construction and test, and some urgent problems in this field are proposed.

【Key Words】CFG; composite foundation; design; construction; test

0 历史与现状

中国建筑科学研究院地基所在 20 世纪 80 年代末期研究开发了水泥、粉煤灰碎石桩(简称 CFG 桩), 该研究属于建设部七五计划课题, 1988 年进行各项试验研究, 并应用于工程实践^[1,2]。目前已在 23 个省市自治区推广应用, 国内许多学者和工程技术人员对该工法进行了大量的研究, 北京已利用 CFG 桩处理 35 层^[3~5]以下的高层建筑和多层建筑, 最大的复合地基承载力已达 760 kPa, 直径 400 mm CFG 桩的桩长已达 24 m, 北京每年数百栋建筑物采用 CFG 桩复合地基, 为业主节省了大量的资金。CFG 桩具有施工工艺简单、造价低、施工速度快的特点。

CFG 桩适应于多层建筑、高层建筑的地基处理, 处理的地基土包括: 杂填土、素填土、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、黄土等^[6~10], 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(高层与裙房基础不设沉降缝), 在高层建筑地基中也常采用 CFG 桩复合地基^[11]。

1 CFG 桩设计问题

1.1 CFG 桩复合地基设计原则^[12]

高层建筑由于其平面形状复杂、荷载重、基础埋

深大或由于考虑控制高层与裙房(地下车库)的差异沉降, 需要对地基进行处理。以前高层建筑常采用桩基础, 桩基采用钻孔灌注桩、预制桩、或其它桩型, 不考虑天然地基承载力, 造成天然地基承载力的浪费。目前可采用 CFG 桩复合地基, 充分发挥天然地基承载能力, 根据经验, CFG 桩复合地基设计原则如下:

1) 满足上部结构对复合地基承载力的要求

在进行高层建筑 CFG 桩复合地基设计时, 岩土工程师应首先考虑结构工程师根据高层建筑上部荷载、基础荷载以及活荷载等荷载情况所提出的复合地基承载力要求, 根据已有的 CFG 桩复合地基、CFG 桩的试验资料, 结合岩土工程勘察报告, 设计出桩长、桩径、桩土置换率、桩体标号等有关桩体参数, 同时进行 CFG 桩复合地基承载力的计算, 以满足上部结构对复合地基承载力的要求, 在满足复合地基承载力时还应考虑一定的安全度, 且对软弱下卧层按有关规范进行验算。

2) 变形满足国标《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 及地区规范对高层建筑地基变形和倾斜的要求

高层建筑由于其高度高、荷载大、形状不规则, 地基的变形及倾斜是基础设计中应考虑的问题。岩土工程师进行高层建筑 CFG 桩复合地基设计时, 在

满足 1) 的前提下, 应对复合地基和下卧层的变形进行计算, 其最大变形量及倾斜值均应满足规范的规定, 以保证建筑物安全运营。对于形状复杂、高层建筑和裙房不设沉降缝的建筑物, 还应进行地基与基础的变形协调计算。

3) 满足桩土变形协调的原则

桩和桩间土的变形协调是复合地基研究中应特别考虑的问题。桩和桩间土的变形协调有利于充分发挥桩间土承载力, 防止应力过于向桩顶集中。褥垫层是保证桩和桩间土变形协调的有利手段, 因而岩土工程师进行高层建筑 CFG 桩设计时, 应根据桩间土承载力、复合地基承载力、桩土应力比、桩顶的标高等因素, 综合考虑褥垫层厚度以满足桩和桩间土变形协调。

1.2 设计中的几个问题

1) 桩端持力层的选择

根据岩土工程勘察报告中地层情况, 一般选择中密—密实的砂土、碎石土做桩端持力层; 如果没有合适的砂土、碎石土, 也可选择中密—密实的粉土、粘土做桩端持力层; 如果在处理的范围内有多层砂土(碎石土)时, 也可采用长短桩复合地基, 短桩充分利用上部中密—密实的砂土(碎石土)。

2) 桩长、桩数的确定

根据设计对承载力和变形的要求综合确定, 变形控制设计对桩长、桩数起到关键作用。

3) 施工工艺及对环境的影响

①人工成孔工艺^[13, 14]

人工成孔适用于地下水位以上的地层, 或通过降水使地下水位位于桩端持力层以下, 成孔采用洛阳铲, 成孔孔径 350 ~ 600 mm, 孔深一般小于 5.0 m, 在灌注砼前, 用重锤夯实孔底虚土, 人工灌注砼成桩, 该工艺的的优点为: 施工速度快, 造价低, 桩底虚土容易处理。缺点: 需要好的桩端持力层。

②振动沉管工艺^[15, 16]

在刚开始 CFG 桩施工技术推广的过程中, 成桩常采用振动沉管施工工艺, 优点是: 成孔过程中对桩间土有挤密。缺点: 如桩间距不合理, 或桩穿透多层中密砂层时容易形成断桩, 造成地面隆起, 对软土可能造成震陷, 振动噪声易扰民。

③中心压灌(长螺旋成孔-泵送砼)工艺^[4, 5, 11]

中心压灌(长螺旋成孔-泵送砼)施工工艺是目前最常用的施工的工法之一, 它采用长螺旋成孔, 泵送砼, 克服了振动沉管成桩难穿透多层砂层或碎石土的难点, 适用于多种地层, 不扰民。缺点: 如控制

不好砼坍落度易造成堵管, 如拔管速度快, 易造成断桩等现象。

④泥浆护壁、钻孔成桩工艺

采用冲击钻成孔, 泥浆护壁, 成孔后按钻孔灌注桩方法成桩。缺点: 桩底沉渣不易控制, 不利于桩端承载力的发挥, 现场施工泥浆多, 需要泥浆外运。

⑤夯扩成桩工艺^[8, 14]

采用重锤夯击成孔, 在孔内填入干硬性砼, 夯击成桩。优点: 对桩间土有一定的挤密作用, 单桩承载力较高, 适用于地下水位以上的地层。

1.3 沉降计算

国内许多学者和工程师对 CFG 桩沉降计算进行了大量的研究^[17~23], 甚至采用有限元进行数值计算。目前有些设计人员对建筑物的变形提出严格要求, 岩土工程师往往按变形控制设计复合地基, 但 CFG 桩复合地基的沉降计算比较困难, 目前常采用以下方法进行 CFG 桩复合地基的沉降计算:

复合地基的沉降量计算公式

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (1)$$

式中: s_1 ——加固区变形;

s_2 ——下卧层的变形;

s_3 ——柔性垫层的变形

阎明礼公式: $s_1 = \psi \sum \Delta P_0 h_i / (\xi E_{si})$ (2)

式中: ψ ——沉降经验系数, 按 GB 50007—2002 取值;

ΔP_0 ——荷载 P_0 在第 i 层产生的附加应力, kPa;

E_{si} ——加固区第 i 层土层的压缩模量, MPa;

h_i ——加固区第 i 层土的厚度, m;

ξ ——模量提高系数 $\xi = \alpha_1 [1 + m(n - 1)]$,

m 为面积置换率, n 为桩土应力比, α_1

为桩间土承载力提高系数, 一般取 1.0。

根据有关的研究^[24, 25], 桩土应力比 n 随荷载的变化而变化, 桩土应力比随垫层厚度的增加而减少, 因而式(3)中 n 值比较难以确定, 人为地将模量扩大 ξ 倍进行计算可能存在问题。

化建新认为: $s_1 = \psi_1 P_0 \alpha_2 H_1 / E_{sp}$ (3)

式中: E_{sp} ——复合地基的变形模量。

根据经验, 式(4)适用于桩长较短的 CFG 桩复合地基。

对下卧层的变形 s_2 可按《建筑地基基础设计规范》(GB 5007—2002) 进行计算, 由于柔性垫层厚度较小(10~30 cm), 且在施工中已压密, 该部分变形 s_3 可以忽略不计。

王辉^[20]等人根据地基与基础共同作用的思路提出“变参数,变刚度,整体调平”。复合地基变形控制设计,总体思路是:通过调整褥垫层和桩体的设计参数,使复合地基的刚度分布与基础基底压力分布相吻合,达到复合地基的后期沉降变形从整体上与基础沉降协调一致,减小差异沉降,使基础上部结构内部不产生较大的内力,同时使土体本身的承载能力尽量得到发挥,并开发出复合地基变形控制设计系统DCDS。

“变参数,变刚度,整体调平”的设计思路有利于充分考虑复合地基与基础共同作用,发挥复合地基的特性,但可能在桩施工过程中存在一定的困难,目前未发现采用该设计系统(DCDS)复合地基的工程实例。

2 CFG 桩施工问题

CFG 桩复合地基的施工由于采用的工法不同,出现的施工问题也不同,对于中心压灌(长螺旋成孔-泵送砼)施工工法常出现堵管、扩径、缩径等问题,国内许多工程师对该问题进行了研究和探讨^[26~30]。

2.1 堵管问题及产生的原因

- 1) 砼搅拌与供应时间差而造成输送管内有空气,泵送砼时管内空气排不出去,受压而产生阻力而堵管。
- 2) 材料原因:如粗量粒粒径大,砼塌落度低。
- 3) 设备原因:拔管速度低于泵送能力,砼泵送压力不足。对拔管速度按以下公式确定:

$$v = Q / (\alpha A) \quad (4)$$

$$Q = \beta Q_0 \quad (5)$$

式中: Q ——砼泵实际输出量, m^3/min ;
 α ——充盈系数,取 1.0~1.2;
 β ——配管系数,取 0.4~1.0;
 Q_0 ——泵の設定输出量, m^3/min 。

- 4) 环境温度过高或过低造成砼离析,应在管道下铺设隔离层以防止水份的蒸发或冻结,尤其冬季应在输送管弯头位置做好防冻保护。

2.2 缩径与扩径

产生的原因:在软土地层、松散砂土层、软硬对比强烈地层及地下水影响的地层中,由于钻进压力大,钻速快,使软土产生触变流变,因而造成扩径或缩径。采取措施:1) 加大桩间距;2) 实行跳打,隔排、隔孔成桩。

2.3 断桩

断桩产生的原因在于拔管速度过快或相邻桩太近造成串桩,采取措施按规定的速度拔管,施工实行跳打,隔排、隔孔成桩。

3 CFG 桩复合地基的检测问题

CFG 桩复合地基的检测包括采用小应变法进

行桩身质量的检测和采用载荷试验确定复合地基的承载力。规范要求采用单桩或多桩复合地基载荷试验,进行单桩复合地基载荷试验时,承压板面积为 1 根桩承担处理的面积。对于试验结果存在以下问题:

1) 载荷试验板的尺寸效应问题

复合地基试验中应力远未影响到下伏加固区^[31],对试验结果应进行分析,有可能复合地基的载荷试验得到的承载力偏大。

2) 载荷试验得到的复合地基承载力修正问题

《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002)规定,基础宽度的地基承载力修正系数应取 0,基础埋深的地基承载力修正系数应取 1.0。

何广纳、秦云峰等人建议采用《建筑地基基础设计规范》(GB 5007—2002)中的参数进行深宽修正。

王长科等人^[32]建议刚性桩复合地基按下式进行修正。

$$f_{sp} = f_{sp,k} + (1 - m) \cdot [\eta_{hs} \gamma (b - 3) + \eta_{ds} \gamma_0 (d - 0.5)] \quad (6)$$

4 CFG 桩复合地基亟待研究的问题

CFG 桩复合地基的理论研究远落后于复合地基的实践,因而应加强复合地基的理论研究,具体包括以下几个方面:

- 1) 对 CFG 桩复合地基负摩阻力的研究,池跃君、宋二译^[33]等人研究发现,复合地基中桩侧摩阻力从加荷开始在桩周土上部土层出现负摩阻现象,桩身轴力最大点不在桩顶而在中性点处,负摩阻力大小随荷载加大而变小,同时中性点逐渐上移,相当一部分上部土层的摩阻力随荷载加大由负摩阻力逐渐变为正摩阻力;

- 2) 对复合地基的变形计算理论研究,尤其对长短桩复合地基的研究^[34~36],根据建筑物的沉降观测资料,发展地方特色的沉降计算方法;

- 3) 对 CFG 桩的桩土应力比^[37]及垫层效应进行研究;

- 4) 根据地方特色,发展适合地方特色的施工工艺、施工方法,应对 CFG 桩在某地区使用出现影响周边环境问题进行研究^[38];

- 5) 加强计算机技术在模拟复合地基性状方面的研究;

- 6) 加强 CFG 桩复合地基检测技术的研究,研究单桩受力时桩身侧阻力和端阻力的发挥情况;

- 7) 加强 CFG 桩复合地基优化设计方面的研究^[39]。

参 考 文 献

- 1 杨 军,等. CFG 桩复合地基在高层建筑地基处理中的应用. 岩土工程青年专家学术论坛文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998. 432~488
- 2 雷华阳. 复合地基应用进展和发展趋势. 岩土工程技术, 2002(5): 260~264
- 3 程学军. 刚性桩复合地基设计中关于承载力的几个问题. 岩土工程技术, 2002(4): 198~200
- 4 化建新,等. 北京望京东湖南里小区(西区) Ia、Ib、Ic 楼降水、基坑支护、地基处理实录. 第五届全国岩土工程实录集. 北京: 兵器工业出版社, 2000. 488~491
- 5 温立新,等. 北京某高层建筑地基基础方案优选——钻孔压灌素砼桩复合地基在北京地区高层建筑中应用. 岩土工程技术, 2002(4): 201~204
- 6 李 战. 回龙观文化居住区 C07 区地基方案对比. 岩土工程技术, 2003(2): 120~124
- 7 吴春林,等. CFG 桩复合地基承载力简易计算方法. 岩土工程学报, 1993(2): 94~102
- 8 庞仁久,等. 北京延庆南关小区住宅楼地基处理工程实践. 第五届全国岩土工程实录集. 北京: 兵器工业出版社, 2000. 467~471
- 9 秦 峰,等. 刚性桩复合地基应用中几个问题探讨. 岩土工程技术, 2003(3): 167~171
- 10 温立新,等. 北京某塔式住宅楼地基基础方案优选. 岩土工程技术, 1998(2): 20~23
- 11 杨素春,等. 望京新城 K5 区高层住宅 CFG 桩复合地基工程实录. 第五届全国岩土工程实录集. 北京: 兵器工业出版社, 2000. 482~487
- 12 化建新,等. 高层建筑 CFG 桩复合地基. 复合地基理论与实践学术讨论会论文集. 杭州: 浙江大学出版社, 1996. 34~37
- 13 化建新,等. 北京芍药居 301[#]楼 CFG 桩复合地基实录. 第四届全国岩土工程实录集. 北京: 兵器工业出版社, 1996. 364~370
- 14 乔来军,等. CFG 桩复合地基的讨论. 岩土工程技术, 1999(4): 18~21
- 15 陈书成,等. CFG 桩复合地基在邯郸国棉四厂中的应用. 第四届全国地基处理学术讨论会论文集. 杭州: 浙江大学出版社, 1995. 387~390
- 16 黄昌乾,等. 钻孔跟管夯扩素砼短桩复合地基工程实录. 第五届全国岩土工程实录集. 北京: 兵器工业出版社, 2000. 472~475
- 17 闫明礼. 地基处理技术. 北京: 中国环境科学出版社, 1996
- 18 化建新,等. 复合地基技术及应用. 岩土工程技术, 2001(2): 73~79
- 19 刘焕存. 高层建筑复合地基沉降分析研究. 见: 史佩栋等主编. 21 世纪高层建筑基础工程. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 335~339
- 20 王 辉,等. 复合地基变形控制设计新思想. 岩土工程技术, 2001(1): 11~13
- 21 李连营,等. 天津市刚性桩复合地基沉降估算探讨. 岩土工程技术, 2002(1): 25~28
- 22 张小敏,等. 刚性桩复合地基应力及沉降计算. 岩土工程技术, 2002(5): 265~268
- 23 龚晓南. 复合地基理论及工程应用. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. 167~168
- 24 化建新,等. CFG 桩垫层效应研究. 岩土工程技术, 1998(1): 48~50
- 25 戴 浩,等. 刚性桩复合地基设计和施工中一些问题的探讨. 岩土工程技术, 2000(1): 11~16
- 26 佟建兴,等. CFG 桩螺旋钻孔-泵压砼成桩工艺施工参数和工艺流程的探讨. 岩土工程技术, 2001(2): 105~111
- 27 牛志民,等. 长螺旋钻孔-泵压砼成桩施工中一些问题的探讨. 岩土工程技术, 2002(4): 238~240
- 28 陈 刚,等. CFG 桩施工常见的问题及质量控制措施. 岩土工程界, 2002(6): 30~32
- 29 于 军,等. 长螺旋钻孔压灌砼桩施工质量控制技术. 岩土工程界, 2002(9): 38~41
- 30 张惠海,等. 素混凝土桩复合地基两种成桩工艺对比分析. 岩土工程技术, 2003(4): 237~243
- 31 秦 然,等. 静载试验能反映复合地基承载力的真实情况吗? 岩土工程技术, 2002(1): 22~24
- 32 王长科,等. 复合地基承载力深宽修正分析. 岩土工程界, 2002(10): 26~27; 31
- 33 池跃君,等. 刚性桩复合地基桩侧阻力分布的试验研究. 见: 史佩栋等主编. 21 世纪高层建筑基础工程. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 660~664
- 34 赵京文,化建新. 北京纺织厂高层住宅楼地基处理方案对比分析. 岩土工程技术, 1999(2): 12~16
- 35 马 骥,等. 长短桩复合地基设计计算. 岩土工程技术, 2001(2): 86~91
- 36 郭志强,等. 组合型复合地基的工程实例. 工程勘察, 2003(5): 34~37
- 37 王瑞永,等. 滑移线场理论在 CFG 桩复合地基桩土应力比研究中的应用. 岩土工程技术, 2003(6): 368~371
- 38 霍风民,等. 郑州某工程 CFG 桩长螺旋钻孔-泵压砼成桩工艺施工对周边环境的影响. 岩土工程界, 2003(7): 39~40
- 39 郭明田,等. 利用正交试验分析进行 CFG 桩复合地基优化设计. 岩土工程技术, 2003(4): 233~236

收稿日期: 2004-10-10