

压灌桩复合地基技术探讨

阎群英

(华北有色工程勘察院, 石家庄 050021)

摘要: 本文对压灌桩地基设计中的复合地基承载力计算、复合地基下卧层强度验算及复合地基沉降计算等问题进行了探讨, 指出了二种规范中的复合地基承载力计算公式的适用条件。另外, 对于下卧层验算应考虑桩形成的实体基础的侧摩阻力, 并且必须将桩端放在较好的土层上, 且无太差的软弱下卧层, 以保证复合地基的安全。对于沉降要求严格的复合地基, 仅靠增大置换率, 提高桩体模量效果不明显, 应采取适当加大桩长较合理。

关键词: 复合地基; 压灌桩; 基承载力计算

中图分类号: P634.5⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1007-6956(2004)增刊-0051-04

1 概述

复合地基是在软弱地基中采用部分置换或加强的方法, 在土中构成加强体, 并与桩间土一起共同承担建筑荷载, 从而提高地基强度和刚度。压灌桩复合地基是近年来发展迅速的一种复合地基技术, 它是利用长螺旋钻机成孔, 砼输送泵压灌注成桩, 它对土体具有半挤密性, 能够提高原土承载力 10% 左右。它属于刚性桩, 是通过柔性垫层(碎石或砂)与基础相连接。由于压灌桩复合地基具有施工简便、造价低廉、施工噪音小、地基承载力高和变形小的特点, 目前在各种地基尤其是高层建筑地基处理中得到广泛应用。

2 复合地基设计

首先要弄清复合地基的主要目的, 对采用复合地基主要是提高地基承载力时, 在设计中首先要充分利用天然地基承载力, 然后通过协调桩体承载力和置换率两者来达到既满足承载力的要求, 又比较经济的目的。对采用复合地基主要控制变形时, 应尽量减少软弱下卧层的压缩量, 最有效的办法是增加处理深度, 减少软弱下卧层的厚度。复合地基主要按沉降控制设计时, 可按不同的加固区深度绘制复合地基置换率与复合地基沉降的关系曲线, 通过经济及

技术比较选择一种方案, 再验算复合地基承载力, 满足要求即可。在实际设计中, 压灌桩不仅可以采用同一桩长, 也可以根据设计条件和地质条件采用不同桩长, 甚至与其它桩如水泥土桩等间作, 形成多桩型复合地基。另外, 复合地基设计除需要满足复合地基承载力和变形要求外, 还要考虑场地环境、建筑物平面布置及荷载分布、施工设备和工艺等。

褥垫层是复合地基的重要组成部分, 是高粘结强度桩形成复合地基的必要条件。在设计中也要引起足够重视。

以下对工程实践中遇到的一些问题进行探讨, 不妥之处, 敬请指正。

2.1 复合地基承载力计算

对于压灌桩复合地基, 按照河北省《长螺旋钻孔泵压砼桩复合地基技术规程》(DB13(J)31-2001), 在初步设计时可按下式计算:

$$f_{spk} = ma R / (\gamma_0 A_p) + \beta(1 - m)f_k \dots\dots (1)$$

在《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2002)中为:

$$f_{spk} = mR / A_p + \beta(1 - m)f_{sk} \dots\dots\dots (2)$$

式中 f_{spk} —复合地基承载力标准值 (kPa);

m —面积置换率;

a —单桩承载力发挥系数, 可取 0.7 ~ 1.0;

收稿日期: 2004-08-11

作者简介: 阎群英(1964-), 男, 教授级高级工程师, 从事工程勘察和岩土工程设计及研究工作。
万方数据

R —单桩竖向承载力标准值(kN);

γ_0 —复合地基重要性系数,对于一、二、三级建筑物分别取 1.1, 1.0, 0.9;

A_p —桩的截面积(m^2);

β —桩间土强度发挥系数,一般可取 0.75 ~ 0.95,对变形要求严的建筑物取低值;

f_k —天然地基承载力标准值(kPa);

f_{sk} —处理后桩间土承载力标准值(kPa),对非挤密桩可取 f_k 。

分析(式 1)和(式 2),当 $a = \gamma_0$ 时,(式 1)即为(式 2)。另外还可以看出对于重要的一级建筑物,以及大面积满堂布桩,采用(式 1)计算时, a 可取低值, γ_0 取 1.1,此时得出的 f_{spk} 相比采用(式 2)得出的 f_{spk} 要小,偏于安全。对于条形基础及二级以下建筑物,采用(式 1)和(式 2)得出的结果基本相同。在规范(DB13(J)31 - 2001)中, a 取值条件较模糊,设计者不易掌握。本人认为,对于高层尤其是一级建筑物,在进行复合地基设计时,宜采用(式 1),适当选用 a 和 γ_0 ,以增加安全度。

另外在河北省规范(DB13(J)31 - 2001)中,桩身混凝土强度等级要求符合 $f_c \geq \gamma_0 R / (\Psi_c A_p)$,式中 f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, Ψ_c 在无地下水时取 0.9,有地下水时取 0.8。在建筑地基处理技术规范(JGJ79 - 2002)中,要求桩体试块抗压强度平均值应符合 $f_{cu} \geq 3R / A_p$,式中 f_{cu} 为桩体试块抗压强度平均值。根据混凝土结构设计规范(GB50010 - 2002), f_c 与 f_{cu} 的关系为:混凝土强度等级为 C40 及以下时, $f_c = 0.88 \times 0.76 f_{cu} / 1.4$ 。按此关系, $f_c \geq \gamma_0 R / (\Psi_c A_p)$ 条件较易满足,也就是说只要满足了 $f_{cu} \geq 3R / A_p$, $f_c \geq \gamma_0 R / (\Psi_c A_p)$ 也肯定满足。因此采用规范(JGJ79 - 2002)中的条件 $f_{cu} \geq 3R / A_p$ 偏于安全。

2.2 复合地基下卧层强度验算

按建筑桩基技术规范(JGJ94 - 94)及地基基础设计规范(GB50007 - 2002)规定,当桩端下存在相对软弱下卧层时,均要验算其强度,一般采用下式:

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (\text{设计规范})$$

式中 p_z —相应于荷载效应标准组合时,桩端下卧层顶面处的附加压力值;

p_{cz} —桩端下卧层顶面处土的自重压力值;

f_{az} —桩端下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值。

在计算 p_z 时,应考虑桩形成的实体基础的侧摩阻力。另外,根据有关资料,当压缩模量比 $E_1 : E_2$ 一定时,双层地基的应力扩散角随着 $z : b$ 的增大而增大,而复合地基是先增大后减小。 $z : b$ 相同,双层地基的应力扩散角远大于复合地基的应力扩散角,且随着 $z : b$ 的增大这种差距更大。因此在荷载作用下双层地基与复合地基中附加应力场分布及变化规律有着较大的差别,将复合地基认为双层地基,低估了深层土层中的附加应力值,在工程上是偏不安全的,这一点在工程设计时要注意,对压灌桩应尽量将桩端放在较好的土层上,且无太差的软弱下卧层。

2.3 复合地基沉降计算

可采用基础设计规范(GB50007 - 2002)上给出的公式,复合土层分层与天然地基相同。要正确选用基底荷载,根据规范(GB50007 - 2002),计算地基变形时,基底压力应采用准永久组合值,而不是复合地基承载力设计值或标准值。另外,当基底压力已扣除地下水对建筑物的浮力时,水位以下土层的重度采用有效重度,否则水位以下土层的重度应采用天然重度。

根据试验,与天然地基相比,复合地基中桩体的存在使浅层地基中的附加应力减小,使深层地基土中附加应力增大,附加应力影响深度加深,因此较深处土层压缩量增大。要进一步减小复合地基沉降量,单纯提高复合地基置换率,或提高桩体模量来减小复合地基加固区压缩量的潜力是很小的。当桩长一定时,荷载增加,加固区及下卧层的压缩变形占总压缩变形量的比例基本没有大的变化。当荷载一定时,桩越长,加固区的压缩变形量占总压缩变形量的比例越大,下卧层的压缩变形量占总压缩变形量的比例越小,即增加桩长对控制变形比较有利。

3 工程实例

裕华生活小区高层住宅楼,共 7 栋 17 层塔式楼,框剪结构、筏板基础,基坑深 4.8 m,基底压力标准值为 420 kPa,准永久值为 400 kPa,要

求复合地基承载力特征值 330 kPa。地下水位埋深约 37 m。通过方案比较,选定压灌桩进行地基处理。以 7# 楼为例,根据勘察报告,场地内主要地基土层参数见表 1:

3.1 复合地基设计

根据建筑物荷载情况及地基土层,初步选定压灌桩桩端持力层为 ⑦ 层粉土,设计桩长为 12 m,进入 ⑦ 层 2.3 m。

表 1 场地内主要地基土层参数表

Table 1 The main parameters of soil in the work site

| 地层 编号 | 厚度 (m) | f_k (kPa) | q_{sik} (kPa) | q_{pk} (kPa) | E_{s1-2} (MPa) | 简要描述 |
|----------|-----------|----------------|--------------------|-------------------|---------------------|--|
| ①层 | 0.5 | | | | | 杂填土。 |
| ②层 | 2.3 | 100 | 20 | | 5 | 粉质粘土,褐黄色,可塑,局部软塑。 |
| ③层 | 1.0 | 120 | 40 | | 17 | 粉土,褐黄色,稍密至中密,软硬不均,夹粉质粘土薄层。 |
| ④层 | 2.2 | 150 | 40 | | 7.5 | 粉砂,灰黄色,稍密至中密,分选好。 |
| ⑤层 | 2.1 | 170 | 50 | | 19 | 中砂,灰黄色,稍密至中密,局部夹粉土。 |
| ⑥层 | 6.4 | 180 | 50 | 1 200 | 7.7 | 粉质粘土,黄褐色,可塑至硬塑,分布稳定,含结核。 |
| ⑦层 | 5.6 | 190 | 50 | 1 500 | 8.5 | 粉土,褐黄色,稍密至中密, |
| ⑧层 | 2.5 | 180 | 60 | 1 250 | 9 | 粉质粘土,黄褐色,可塑至硬塑,分布稳定,含结核。 |
| ⑨层 | 2.2 | 300 | 65 | 2 800 | 25 | 中砂,灰白色,中密至密实,含少量小砾石 |
| ⑩层 | 1.5 | 320 | 100 | 3 200 | 30 | 含卵砾石中粗砂,杂色,中密至密实,成层稳定,含卵砾石约 15% ~ 20%。 |

按(式 1)得 $m = (f_{spk} - \beta f_k) / [(a R / \gamma_0 A_p) - \beta f_k]$, 取 $f_{spk} = 330$ kPa, $\beta = 0.9$, $f_k = 150$ kPa, $a = 0.9$, $R = 545$ kPa, $\gamma_0 = 1.1$ 经计算得: $m = 0.057$, 取 $m = 0.06$, 此时 $f_{spk} = 339$ kPa, 满足设计要求。

当按(式 2)计算时,得 $m = 0.046$, 取 $m = 0.05$, 此时 $f_{spk} = 345$ kPa, 很明显 m 取值小, 但得出的 f_{spk} 却大。

3.2 复合地基下卧层强度验算

7# 楼筏板长为 51 m, 宽 b 为 14.3 m, 基础埋深 4.8 m, 设计桩长为 12 m, 基底附加压力: $p_0 = 420 - 19 \times 4.8 = 329$ kPa, 由于 $\zeta = f_{spk} / f_{ak} = 339 / 150 = 2.26 < 3$, 因此 $E_{s1} / E_{s2} = 2.26 < 3$, 且 $t < 0.25 b$ (t 为桩端到 ⑧ 层顶面距离), 因此 $\theta < 4^\circ$, 取应力扩散角 $\theta = 0$, 就有:

桩端下卧层 ⑧ 层顶面处附加压力 $p_z = p_0 - f_q = 329 - 55$ kPa = 274 kPa, (f_q 为桩实体基础的侧摩阻力经计算 $f_q = 55$ kPa)。

桩端下卧层 ⑧ 层顶面处自重压力值 $p_{cz} = 19.5 \times 20.1 = 392$ kPa (考虑桩体重度)

桩端下卧层 ⑧ 层顶面处经深度修正后地基

承载力特征值 f_{az} 按下式计算:

根据 $R = Q_{uk} / \gamma_{sp}, \gamma_{sp}$ 取 1.70, 经计算 $R = 545$ kN。
按照条件 $f_{cu} \geq 3R / A_p = 3 \times 545 / 0.1256 = 13\ 017$ kPa, 选用桩身混凝土强度等级为 C15。 $f_{cu} = 15\ 000$ kPa $> 13\ 017$ kPa, 满足要求。
对于条件 $f_c \geq \gamma_0 R / (\Psi_c A_p) = 1.1 \times 545 / (0.9 \times 0.1256) = 5\ 303$ kPa, 对于 C15 其 $f_c = 7\ 200$ kPa $> 5\ 303$ kPa, 同样满足要求。

承载力特征值 f_{az} 按下式计算:

$f_{az} = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) = 180 + 1.5 \times 19 \times (20.1 - 0.5) = 738.6$ kPa $p_z + p_{cz} = 274 + 392 = 666$ kPa < 738.6 kPa, 因此下卧层强度满足要求。

3.3 复合地基沉降计算

按照规范(GB50007 — 2002), 复合地基最终变形量可按下式计算:

$s = \psi_s \sum p_0 (z_i a_i - z_{i-1} a_{i-1}) / E_{si}$
取 $p_0 = 400 - 19 \times 4.8 = 309$ kPa, 经计算得 $s = 15.79$ mm, 满足设计要求。

4 结论

- 1) 复合地基设计首先要考虑是解决地基承载力问题, 还是控制变形问题, 要针对不同目的进行优化设计。
- 2) 对于高层尤其是一级建筑物, 在进行复合地基设计时, 宜采用(式 1), 适当选用参数 a, γ_0 , 以增加安全度。对于 a 取值问题, 建议规范编制单位给定比较清晰的取值条件。
- 3) 在确定桩身混凝土强度等级时, 宜优先采用

《建筑地基基础设计规范》(JGJ79 - 2002)中的条件 $f_{cu} \geq 3 R/A_p$, 偏于安全。

4) 在进行复合地基下卧层强度验算时, 要注意在荷载作用下复合地基与双层地基中附加应力场分布及变化规律有着较大的差别, 在选取应力扩散角时应适当折减。对压灌桩应尽量将桩端放在较好的土层上, 且无太差的软弱下卧层。

5) 减小复合地基沉降量, 关键是减小复合地基加固区下卧层的压缩量。减小下卧层部分的压缩量最有效的办法是增加桩长, 减小下卧层中

软弱土层的厚度, 而不是增大置换率。并且过度增大置换率, 增大了下卧层的荷载, 更不利于减小沉降。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 复合地基理论与工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 闫明礼, 张东刚. CFG 桩复合地基技术及工程实践[M]. 北京: 水利水电出版社, 2001.

Study on the Composite Foundation Technique of the Long Screw Drilling Cast in the Place Piles

YAN Qun-ying

(The North China Investigation Institute of Non-Ferrous Metal Engineering, Shijiazhuang 050021)

Abstract: The paper is discussing on the problems in the design, such as the calculation of bearing capacity of the composite foundation, underlying the stratum strength, settlement analysis of the composite foundation. Point out two suitable conditions in the computation of bearing capacity of the composite foundation. In addition, for the safety of composite foundation, the side friction of the piles should be considered in the analysis of underlying stratum strength, the piles should load on the higher bearing capacity of soil stratum. For the strict demand of settlement of composite foundation, it is obviously that increasing the length of the piles is much better than increasing replacement ratio and modulus of the piles.

Key words: Composite Foundation; Long Screw Drilling Cast in the Place Piles; calculation of bearing capacity