

# 深搅桩复合地基设计思路的探讨

蒋学广

(云南地质工程第二勘察院,云南 大理 671000)

**摘要:**结合工程实例分析了大理经济开发区复合地基设计中主要强调承载力而导致较多建筑过量沉降的问题,提出了复合地基设计时应以变形控制为主,承载力仅作验算指标的设计思路。

**关键词:**深搅桩;复合地基;承载力;变形控制

**中图分类号:**TU472.3<sup>+</sup>1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2008)04-0047-02

**Discussion on Design of Compound Foundation with Deep Stirring Pile/**JIANG Xue-guang (Yunnan Second Institute of Geological Engineering Investigation, Dali Yunnan 671000, China)

**Abstract:** Analysis was made on excessive subsidence in compound foundation design of Dali economic development zone, considering of excessive subsidence in many buildings, deformation control was paid attention instead of the emphasis on bearing capacity in compound foundation design. Bearing capacity only turned to be the checking calculation index for design.

**Key words:** deep stirring pile; compound foundation; bearing capacity; deformation control

## 0 前言

云南大理经济开发区分布大量的湖积软土地层,以软弱粘性土、淤泥土和泥炭质土为主,顶部一般分布 1.5~5 m 不等的硬壳层。自 1994 年引进深层搅拌和粉喷桩加固处理技术,复合地基设计单位普遍要求单桩承载力及复合地基承载力达到某一定值,检测单位则以堆载试验确定单桩承载力及单桩复合地基承载力,测定值大于设计值即为满足设计要求,从而进行上部建筑施工。至 2002 年,建筑物普遍出现过量沉降和差异沉降现象。后来开始推广使用深搅加心桩,承载力大幅度提高,但建筑物沉降并未明显减小,部分建筑已影响正常功能的使用。

## 1 工程实例

### 1.1 富海小区

场地土层结构见表 1。

表 1 富海小区场地土层结构特征

土层编号	土层名称	埋深范围/m	$f_k$ / /kPa	$E_{1-2}$ / /MPa	$e$
①	填土、粘性土、粉土	0~4.2	80~160	2.60~7.8	0.5~1.8
②	泥炭质粘土和淤泥土	3~15	30~35	1.08~1.6	2.0~5.8
③	软粘土	15~40	60	1.8	2.0

建筑物为 4~6 层住宅楼,条形基础,砖混结构。采用粉喷桩复合地基处理,桩径 500 mm,桩长 9 m,面积置换率 26.9%。施工结束后,采用静载荷试验

检验,单桩承载力 > 80 kN,单桩复合地基承载力 > 150 kPa,均满足设计要求,核算建筑物最大沉降量 20~30 cm。建筑物封顶后 2 年半,沉降量达 50~99.5 cm,普遍产生不均匀沉降,最大差异沉降率达 11%,地下排水管道断裂,小区变成洼地,严重影响正常功能的使用,但房屋未出现开裂等破坏。

### 1.2 珠海都市花园小区

场地土层结构见表 2。

表 2 珠海都市花园场地土层结构特征

土层编号	土层名称	埋深范围 /m	平均厚度 /m	$f_k$ / /kPa	$E_{1-2}$ / /MPa	$e$
①	杂填土	0~4.3	2.2	70	2.6	1.706
②	粘土	0.3~4.7	1.1	60	2.2	1.503
③	淤泥	0.3~49.7	>40	37	1.7	1.946

建设项目总用地 36898 m<sup>2</sup>,建筑面积 58878 m<sup>2</sup>,建筑密度 0.36,容积率 1.48,建筑物高 2~6 层,条形基础,砖混结构。采用表层换土及深搅加心桩复合地基处理。换土厚度 2 m,换填完成后开始深搅加心桩施工,深搅桩桩径 500 mm,桩长 16 m,加心桩桩长 12 m,顶部 25 cm×25 cm,底部 15 cm×15 cm,混凝土等级为 C20。施工结束后,采用静载荷试验检验,单桩承载力均大于 480 kN,满足设计要求,核算建筑物最大沉降量 12 cm。目前,6 层建筑刚封顶,最大沉降量已达 16 cm,沉降仍不稳定。

收稿日期:2007-06-18

作者简介:蒋学广(1974-),男(汉族),云南宣威人,云南地质工程第二勘察院副主任、高级工程师,水文地质与工程地质专业,从事水文地质、工程地质、环境地质工作,云南省大理市下关苍浪路锦兴美食街 86 号,jxg224@126.com。

## 2 复合地基承载力的确定

目前,载荷试验检测的复合地基承载力主要为单桩复合地基承载力。一般通过面积置换率反求压板面积,用压板对桩土一起加载试验,按试验规程求得单桩复合地基承载力值。由于目前试验方法的局限,载荷试验时地基土的受力和变形情况与房屋建成后的情况不尽相同,测定的复合地基承载力不宜作为设计的主要依据,主要表现在以下几方面。

(1) 影响深度不同。压板载荷试验所测定的变形影响深度只是压板边长 2 倍深,载荷试验主要反映出上部硬壳层承载力,不能反映下部软土承载力。建筑物的所有基础同时受力后,通过应力扩散,在基础底面下一定深度内应力重叠,形成筏板基础作用效果,表现为房屋沉降,但室内地坪并未隆起,小区整体绝对沉降大,区内建筑与道路相对沉降小。建筑物基础整体受力后以筏基作用考虑,地基土受力及压缩变形影响深度远大于载荷试验的影响深度。

(2) 影响时间不同。试验规程规定,载荷试验观测时间有限,一般不超过 2 天,而建筑物的沉降时间长达几年甚至几十年。据富海小区沉降观测情况,建筑物封顶至今已近 10 年,沉降仍不稳定。

(3) 地下水边界条件不同。载荷试验时间短,试验过程中可假定地下水条件不变,而建筑物建成后,按设计,使用期至少 50 年,在这期间,附近场地可能有深基坑开挖、打水井等工程,形成地下水排水通道,软土地基排水固结,加速沉降。

(4) 桩身强度不同。一般载荷试验龄期为 30 天左右,试验完成后,桩身强度仍在不断增长。依据现行规范<sup>[1]</sup> 11.1.5 条条文说明,不同龄期的水泥土抗压强度间大致呈线性关系,90 天龄期的水泥土抗压强度是 28 天时的 1.43 ~ 1.80 倍。

## 3 沉降分析

文献[1] 11.2.9 条规定,竖向承载搅拌桩复核地基的变形包括搅拌桩复合土层的平均压缩变形  $S_1$  和桩端下未加固土层的压缩变形  $S_2$ 。

### 3.1 桩身压缩变形

依据文献[1],深搅桩复合土层的压缩变形  $S_1$  按下式计算:

$$S_1 = (P_z + P_{z1})l / (2E_{sp}) \quad (1)$$

$$E_{sp} = mE_p + (1 - m)E_s \quad (2)$$

式中:  $P_z$ ——搅拌桩复合土层顶面的附加压力值, kPa;  $P_{z1}$ ——搅拌桩复合土层底面的附加压力值, kPa;  $l$ ——加固地基的深度, m;  $E_{sp}$ ——搅拌桩复合

土层的压缩模量, kPa;  $E_p$ ——搅拌桩的压缩模量, 可取  $(100 \sim 120)f_{cu}$ , kPa;  $E_s$ ——桩间土的压缩模量, kPa。

从上述公式中可以看出,桩身强度的增加可以减小桩身压缩变形量。根据富海小区桩身开挖监测结果,在泥炭质粘土中,28 天龄期时,深搅桩仍处于软塑~流塑状态,凝固效果差,载荷试验时应力传递深度浅,桩身压缩变形小,随着时间的延续,桩身强度逐渐增加,附加应力传递较深,桩身压缩变形值增大。

### 3.2 桩端以下土层压缩变形

文献[2] 5.3.5 条规定,地基内的应力分布,可采用各向同性均质线性变形体理论,其最终沉降量可按下式计算:

$$S = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{a}_i - z_{i-1} \bar{a}_{i-1})$$

式中:  $s$ ——地基最终变形量, mm;  $s'$ ——按分层总和法计算出的地基变形量;  $\psi_s$ ——沉降计算经验系数,根据地区沉降观测资料及经验确定,无地区经验时按变形计算深度范围内压缩模量的当量值和基底附加压力综合确定;  $n$ ——地基变形计算深度范围内所划分的土层数;  $p_0$ ——对应于荷载效应准永久组合时的基础底面处的附加压力, kPa;  $E_{si}$ ——基础底面下第  $i$  层土的压缩模量, MPa, 应取土的自重压力至土的自重压力与附加压力之和的压力段计算;  $z_i$ 、 $z_{i-1}$ ——基础底面至第  $i$  层土、第  $i-1$  层土底面的距离, m;  $\bar{a}_i$ 、 $\bar{a}_{i-1}$ ——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。

从上述计算公式看,可以说明以下几点:

(1) 该计算公式为半经验公式,地基变形计算值因人而异,因地区而异,  $\psi_s$  为沉降经验计算系数,取值是否合理,对最终变形量  $s$  影响较大。

(2) 场地较复杂时,岩土工程勘察分层会因人而异,绝大多数将力学指标相近的土层合并,有时将薄于 50 cm 的夹层剔除;同一土层中实际力学指标有较大差异,最后以平均值代表该层指标。说明  $E_{si}$  的取值就不够准确。

(3) 同一场地不同位置的各土层厚度不同,各钻孔计算的变形量也不同,最后对最终变形量  $s$  的取值就有不确定性,有人取平均值,有人取最大值。

计算公式中的参数就有许多不确定性,计算结果的误差就会较大。比如,大理经济开发区的大部分建筑的实际沉降量大于计算值。

(下转第 52 页)

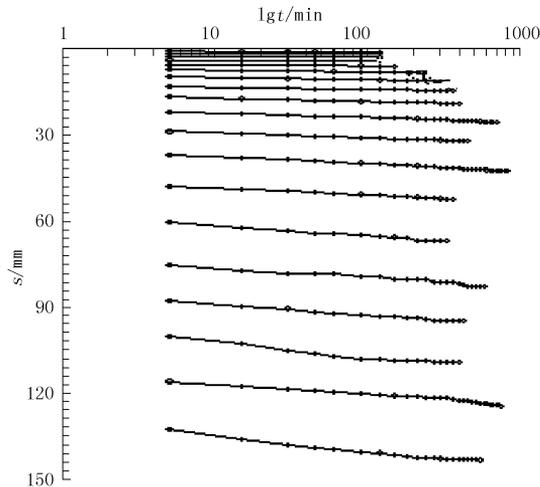


图4 试桩的  $s-lgt$  曲线

注:从上到下依次是 1200、1800、2400、3000、3600、4200、4800、5400、6000、6600、7200、7800、8400、9000、9600、10200、10800、11400、12000 kN。

试验成果见表6。从表中数据可以看出,桩侧及桩端阻力发挥比较均衡,充分说明后压浆技术对于改善桩体受力的适用性。

#### 4 结语

该工程成功应用后压浆技术,克服了钻孔灌注

(上接第46页)

应力波衰减较慢,曲线平滑,对深部缺陷识别较好,对浅部缺陷也有反应。我们一般先用尼龙锤普测,再用铁锤对不正常的曲线进行复测。如图6、9所示曲线,采用尼龙锤作为激震器,对浅部缺陷往往采集不到好的曲线,也就不好进行判断,容易误判或漏判。检测人员除了必须掌握反射波法的理论知识,熟悉仪器操作及信号采集技术,如采用不同的激震材料,改变采样间隔,变换激震点和传感器安装位置

(上接第48页)

#### 4 结论及建议

(1) 无论复合地基承载力高与低,只要桩端持力层仍是软土,深搅桩就是悬浮桩,地基压缩变形就大。

(2) 深搅桩处理只是对软土地基的部分加固,复合地基根本上还是软土地基。地基基础设计时应以变形控制为主,承载力作为验算指标,满足变形和承载力双控要求。

(3) 工程设计时应根据当地同类场地土,同类型建筑的长期观测沉降结果,参照变形计算值确定

表6 高应变试验成果汇总表

桩号	单桩极限承载力/kN	所占比例/%		模拟静载沉降量/mm			
		侧摩阻力	端阻力	桩侧	桩端		
Z1	8026.5	4717.2	3309.3	58.8	41.2	20.8	17.0
Z2	5732.8	3164.5	2568.3	55.2	44.8	18.2	12.5
Z3	7501.6	4523.5	2978.1	60.3	39.7	20.1	16.4

桩传统施工工艺的弊端,最大限度地发挥了桩体的承载性能,通过试桩的试验结果说明后压浆技术可以有效提高桩体的侧摩阻力和桩端阻力,从而有效地控制桩基沉降量。该技术施工重点是压浆量及压浆压力的合理确定,今后可以继续相关的试验研究,并结合更多的工程实践,使得该技术得以推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 编委会. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [2] 龙琼, 张刚. 钻孔灌注桩桩端压力注浆施工技术简介[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(4): 49-52.
- [3] 周代表. 软土地基超长桩工程性状分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(增): 87-90.
- [4] JGJ 94-94, 建筑桩基技术规范[S].
- [5] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

等,还要对反射波法适用性要有充分认识,了解影响反射波法检测准确性的各种因素,掌握正确的分析方法,不断积累工程检测经验,提高检测水平,才能为建设工程提供准确可靠的检测结果。

#### 参考文献:

- [1] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] JGJ/T 135-2001, 复合载体夯扩桩设计规程[S].
- [3] JGJ 106-2003, 建筑基桩检测技术规范[S].

最终变形量,即采用工程类比法设计。预留足够沉降,保证建筑物正常功能的使用。

(4) 载荷试验承载力不宜直接作为设计依据,可用于判别地基土的相对强度。沉降计算公式不确定因素较多,计算值与实际值相差较大。各地区应通过大量的实践,结合多种试验手段建立起地区性、单元性的软土地基及各类复合地基的承载力和变形沉降经验值,作为工程设计的可靠依据。

#### 参考文献:

- [1] JGJ 79-2002, J220-2002. 建筑地基处理技术规范[S].
- [2] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].