

# 化学灌浆加固桩基实例分析

吴明真

(中国轻工业广州设计院 510180)

[提要] 通过对某住宅楼桩基沉降原因的分析及加固处理方案的论证,简要介绍了深填土区因回填土固结沉降而引起承载力下降的桩基加固方案选择及其处理结果,供参考。

[关键词] 桩基 固结沉降 桩侧负摩阻力 单桩承载力 化学灌浆

By analysing the settlement of piled foundation of a residential building and demonstrating the project to reinforce the foundation, the selection of methods to reinforce piled foundation with reduction of capacity due to consolidation settlement of fill and the result of treatment are introduced to give reference to the similar engineering.

**Keywords:** piled foundation; consolidation settlement; negative friction force; pile capacity; chemical grouting; reinforcement

## 一、概述

广州市天河某住宅楼于1996年6月动工,1998年2月竣工。该楼为钢筋混凝土框架结构,采用 $\phi 480$ 混凝土沉管灌注桩。根据1997年8月1日至1998年2月17日为期6个半月的沉降曲线(如图1)可以看出,沉降变形较大,且发展趋势无明显收敛。应业主的委托,我们对该楼的沉降进行了分析,提出了相应的加固方案并进行了论证。

## 二、工程地质条件及沉降原因分析

该场地典型的钻孔柱状图见图2,其中的素填土回填时间不足两年,厚度为10~13m,土质为结构疏松的粉质粘土,填土层下局部有一层0.14~4m厚的淤泥质土。

根据桩基动测报告,桩基总体灌注质量良好,未发现桩身有严重缺陷,说明桩身承载力可满足设计要求。根据单桩竖向静载试验报告,三根试验桩的极限承载力实测值为:

$$Q_{u1} = 1\ 100\text{kN},$$

$$Q_{u2} > 1\ 200\text{kN}$$

$$Q_{u3} = 1\ 200\text{kN}$$

由于第二根桩桩长较长,试验时未达极限状态,分析时偏于安全地取为:

$$Q_{u2} = 1\ 200\text{kN}$$

极限承载力实测值的平均值为

$$Q_{um} = (1\ 100 + 1\ 200 + 1\ 200) / 3 = 1\ 167\text{kN}$$

$$a_1 = 1\ 100 / 1\ 167 = 0.1943$$

$$a_2 = a_3 = 1\ 200 / 1\ 167 = 1.1028$$

标准值

$$S_n = \sqrt{\frac{(0.1943 - 1)^2 + 2 \times (1.1028 - 1)^2}{3 - 1}}$$

$$0.105 < 0.115$$

故单桩承载力标准值  $Q_m = 1\ 167\text{kN}$ 。

由于承台底土为新填土,故不考虑承台的效应。沉管灌注桩桩基的竖向承载力的设计值为:

对于桩数不超过三根的桩基,每根桩的竖向承载力设计值

$$R = Q_{um} / \gamma_p = 1\ 167 / 1.7 = 686\text{kN}$$

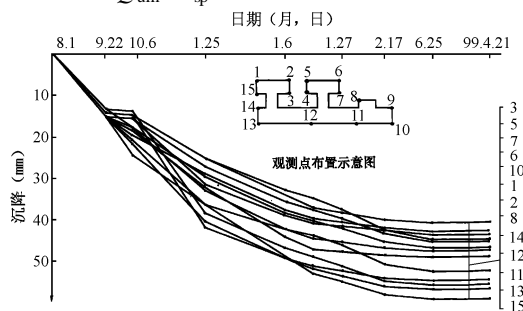


图1 沉降曲线

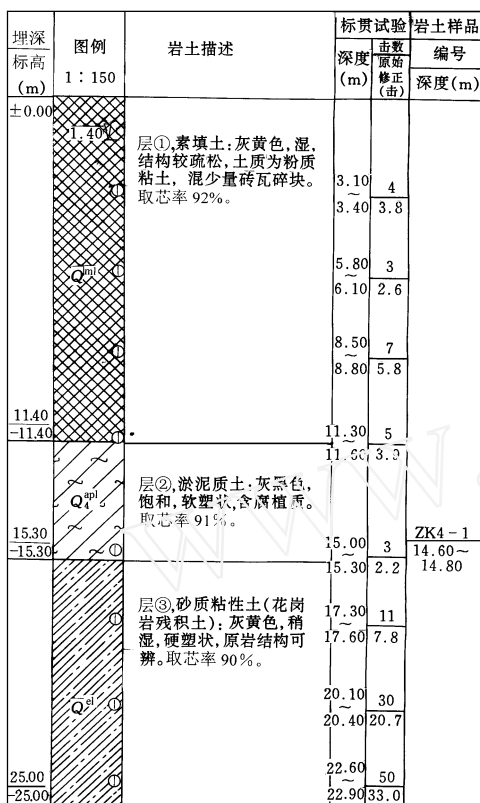


图 2 钻孔柱状图

式中  $\eta_{sp}$  为桩基竖向承载力分项系数。

对于桩数超过三根的复合桩基, 每根桩的竖向承载力设计值:

$$R = \eta_{sp} Q_{um} / \eta_{sp} = 0.195 \times 1167 / 117 = 652 \text{ kN}$$

由此可见, 单桩竖向承载力的设计值满足  $R = 600 \text{ kN}$  的要求。根据上部结构传来的竖向荷载设计值和设计图纸复核, 该楼的桩基竖向承载力也满足要求。

但考虑到新填土的负摩阻力情况就大不一样了。由于新填土未经夯实, 结构松散, 在其自重应力作用下逐渐压密固结, 土体会缓慢下沉。局部的淤泥质粘土为高压缩性土, 在上层填土重量产生的附加应力作用下也将发生固结沉降。

随着时间的推移, 土体的固结沉降不断增大, 而桩身在上部结构荷载的作用下, 沉降

变形则趋于稳定。在桩身中性点以上桩段, 桩身与土体之间的相对位移为桩身向上, 土体向下, 使土体提供给桩身向上的摩阻力变为向下的负摩阻力, 从而大幅度降低了桩的有效承载力。

由于淤泥质土为高压缩性土, 故以淤泥质土的中点为中性点, 则中性点以上的桩长为  $11 \text{ m}$ , 其中填土层内的桩长为  $9 \text{ m}$ , 淤泥质土内的桩长为  $2 \text{ m}$ , 根据《建筑桩基技术规范》表 5.12.18-1, 填土及淤泥质土的极限摩阻力标准值均取  $q_{sk} = 15 \text{ kPa}$ , 则单桩的极限负摩阻力标准值为:

$$q_{uk} = 0.148 \times 11 \times 15 = 249 \text{ kN}$$

由于中性点以上的正摩阻力变成了负摩阻力, 且其数值与原摩阻力相同, 则实际的有效单桩竖向承载力设计值为: 对于桩数不超过三根的桩基

$$R = (Q_m - 2q_{uk}) / \eta_{sp} = (1167 - 249 \times 2) / 117 = 394 \text{ kN}$$

对于桩数超过三根的桩基

$$R = \eta_{sp} (Q_m - 2q_{uk}) / \eta_{sp} = 0.195 \times (1167 - 249 \times 2) / 117 = 374 \text{ kN}$$

显然, 一旦考虑桩侧负摩阻力的作用, 桩基竖向承载力则远不能满足设计要求。

从以上分析可以看出, 填土及软弱土固结沉降造成的桩侧负摩阻力是桩基沉降的根本原因。由于填土及软弱土的固结需要多年时间, 故桩基的沉降变形还将继续发展, 而且, 随着时间的推移, 负摩阻力还有继续增大的可能, 故必须立即采取措施予以控制。

### 三、加固方案的确定

根据本工程的实际情况, 一方面在技术上要保证结构的安全和正常使用, 尽快控制沉降的发展; 另一方面, 因为需要处理的范围很大, 必须尽可能降低加固费用。

#### (一) 方案的比较

根据本工程桩基沉降的原因, 采用了化学灌浆的方法对填土及淤泥质土进行加固。

确定时并对如下方案进行了比较。

11 树根桩

桩径 150 ~ 250mm,单桩承载力设计值 100 ~ 200kN,属摩擦型桩,主要用于荷载不大的低层建筑的托换,此处不适用。

21 微型钢管桩

一般孔径为 150mm,要求嵌固于中风化岩石 112m 左右,利用入岩部分的桩侧摩阻力和桩端岩石提供的端阻力工作。此方案对原基础扰动小,单桩承载力设计值可达 300 ~ 350kN,可直接钻穿原承台后成桩,不必做连接承台。但由于本工程中风化岩埋深在 35m 左右,同时在填土厚达十几米的情况下,难以满足规范的长细比要求。且此方案工程造价很高。

31 静压桩

250mm ×250mm 静压方桩,其单桩承载力设计值一般为 200 ~ 350kN,利用建筑物自重作为反力压入。桩身质量有保证,对土体能起到挤密作用,在一定程度上能使土体固结,减少桩侧负摩阻力,噪音小,无污染。但因该场地回填土深厚,持力层埋置深,使静压桩接头较多,单桩承载力偏小,故造价较高。

41 钻孔灌注桩

采用 <500 室内钻孔灌注桩,单桩承载力设计值可达 600kN,且可按要求保证进入持力层深度。采用此桩型加固,所需桩数较少,造价相对较低,但此方案噪音大,污染严重。

51 化学灌浆

采用化学灌浆填充填土及淤泥质土中的孔隙,可显著提高土体的密实度,大幅度降低填土在自重作用下的固结沉降和淤泥质土在填土重量产生的附加应力作用下的固结沉降,从而减少以至消除桩侧负摩阻力,达到控制桩基沉降的目的。通过调整灌浆孔布置密度和灌浆量,可显著减少基础的不均匀沉降,防止结构整体倾斜。在施工中,浆液在机械压力的作用下对填土产生挤压作用,使上层土体产生一定的抬升位移,这一位移使桩身上段与填土相对向上的位移变成相对向下的位移,使桩身上部的负摩阻力变成正摩阻力,从而迅速提高桩基的竖向承载力,减缓桩基沉降速度。

另外,该方案噪音及污染均较小,投资也少,且由于该楼正在销售,除化学灌浆以外的几种方案所需机且及材料较多,显然这对开

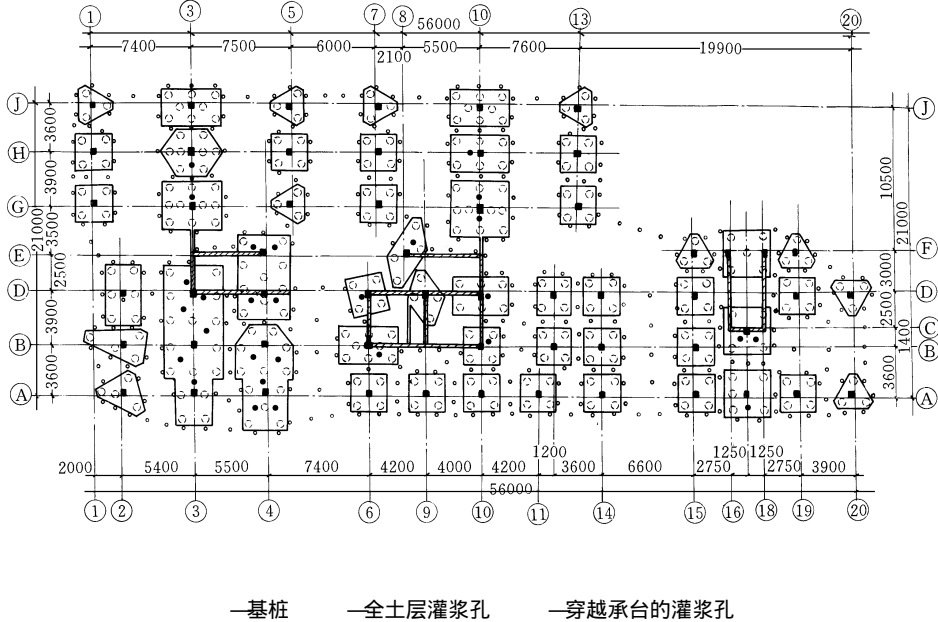


图3 灌浆孔平面布置图(方案五)

加固方案技术经济指标对比

表 1

项目	微型钢管桩加固	静压预制桩加固	钻孔灌注桩加固	化学灌浆加固
加固效果	一般,且长细比过大	较 好	较 好	较 好
主要工程量	<200 桩约 120 根, 桩长约 35m	250 ×250 桩 110 根,桩长约 120m,连接承台约 180m <sup>3</sup>	<500 桩约 110 根, 桩长约 27m,连接承台约 180m <sup>2</sup>	灌浆区体积约 9 000m <sup>3</sup> , 灌浆孔 392 个,灌浆深度 9m,浆液量 470m <sup>3</sup>
工程造价(万元)	150	120	150	45
环保评价	噪音大,污染小	噪音较小,污染小	噪音大,污染大,有附加沉降	噪音小,污染小
预计工期(d)	90	90	100	60
说 明	单桩承载力设计值实际值约为 350kN	单桩承载力设计值实际值约为 350kN,上段 10m 长桩侧涂沥青	单桩承载力设计值实际值约为 350kN	每孔浆液量按填土及淤泥质土物理参数估算,据现场试验确定

发商售楼也是不利的。

## (二)方案的确定

根据上述的分析比较,很明显化学灌浆是最经济合理的方案。经与业主讨论后确定采用此方案。此方案的设计要点如下:

11 灌浆范围:在该桩基布置范围及其边缘进行灌浆,灌浆土层为填土层和淤泥质土层,灌浆区平面面积约 1 000m<sup>2</sup>,孔深 10~16m,平均 13m,灌浆深度为孔底至现地面以下 4m,平均灌浆深度为 9m,灌浆区体积约9 000m<sup>3</sup>。

21 灌浆孔布置:根据土层和前期沉降变形情况布置灌浆孔,详见图 3。灌浆孔总计 392 个,其中穿越承台的灌浆孔 29 个。

31 灌浆材料:采用 425 号普通硅酸盐水泥、水玻璃、膨胀剂和水配制浆液。

41 每孔终止灌浆的标准根据现场压浆

试验确定。

51 灌浆顺序:先进行外围孔的灌浆,再进行中间孔的灌浆。

## 四、处理效果

该加固工程于 1998 年 4 月开工,历时 50 天,最终处理费用约 45 万元人民币(见表 1)。经过近一年的观测,桩基沉降已被控制,无继续发展,技术及经济效益均十分显著。

## 五、结语

对于桩基的加固,目前通常的作法是加设托换桩基。根据本工程的实际情况,采用了化学灌浆的方法来加固桩基,效果十分理想。这为桩基的加固方法开拓了思路。

## 参 考 文 献

- 11 建筑桩基技术规范(J G 94-94) 1
- 21 江正荣.地基与基础施工手册.

(上接第 21 页)

$$N_{\max,k} = \frac{M_w x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} = \frac{403171 \times 2155}{2155^2 \times 2} = 158.3 \text{ kN}$$

其设计值:

$$N_{\max} = 113 \times 15812 = 20518 \text{ kN}$$

本工程使用的 <800 桩的单桩竖向承载力设计值  $R = 1\ 827 \text{ kN}$ 。按构造配筋率  $\rho_g = 0.12\%$  计算,单桩水平承载力设计值  $R_h = 214173 \text{ kN}$ 。根据《建筑桩基础技术规范》<sup>[21]</sup>,桩的竖向承载力在荷载地震效应组合时较荷载基本效应组合提高 25%,则  $0.125 R = 456 \text{ kN}$ 。本工程单桩的最大附加竖向荷载  $N_{\max} =$

406184 kN,最大水平荷载  $H = 12218 \text{ kN}$ ,均满足要求。

## 四、结论

通过上述讨论和计算可初步得出以下结论:1)在一般情况下,桩基础的竖向承载力可以满足承担地震倾覆力矩产生的附加竖向力的要求;2)在不增加桩数的情况下,可通过设置抗震拉梁并将桩身通长构造配筋来满足桩承担水平地震剪力的要求。

## 参 考 文 献

- 11 建筑抗震设计规范(CBJ 11—89). 中国建筑工业出版社,1989.
- 21 建筑桩基础技术规范(J G 94—94). 中国建筑工业出版社,1995.
- 31 建筑抗震设计手册. 中国建筑工业出版社,1994.