

DOI: 10.11779/CJGE2017S2023

# 微型桩在软土地基加固工程中的应用

孙训海, 佟建兴, 杨新辉, 罗鹏飞, 杜世伟

(中国建筑科学研究院地基基础研究所, 北京 100013)

**摘要:** 以软土地区某建筑物的加固设计和施工为例, 结合第三方监测数据, 详细分析了某工程建筑物沉降及倾斜发生的原因。通过对某工程的微型桩加固设计及施工工艺方法描述, 提出了针对软土地区地基处理及地基基础加固施工方案的建议。该工程微型桩复合桩基加固方案, 加固效果良好, 有效控制了建筑物的后期沉降, 且施工工艺简单, 经济性突出, 可为类似加固、纠倾工程提供参考, 对软土地区地基处理及加固施工有一定的指导意义。

**关键词:** 微型桩; 软土地基; 复合桩基; 地基加固

中图分类号: TU447 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2017)S2-0091-04

作者简介: 孙训海(1979-), 男, 江苏滨海人, 中国建研院地基所副研究员, 从事岩土工程设计与施工。E-mail: 27289585@qq.com。

## Application of micro-piles in reinforcement of soft soil area

SUN Xun-hai, TONG Jian-xing, YANG Xin-hui, LUO Peng-fei, DU Shi-wei

(China Academy of Building Research Institute of Foundation Engineering, Beijing 100013, China)

**Abstract:** The design and construction of strengthening of a building in soft soil area is taken as an example. The reasons for the settlement and the inclination of this project are analyzed in combination with the monitoring data by the Third Party. Through the description of the design and construction of micro-pile reinforcement, some suggestions for the foundation treatment and consolidation in the soft soil area are provided. The reinforcement effect of micro-pile composite foundation is very good, which can effectively control the post-construction settlement. Besides, the construction technology is simple and economic. The results may provide references for the similar reinforcement and projects deflection rectification. Furthermore, they can supply guidance for the foundation treatment in soft soil area.

**Key words:** micro-pile; soft soil foundation; composite pile foundation; foundation treatment

## 0 引言

近年来, 随着中国大规模的工程建设, 出现了很多地基基础方面的质量事故, 尤以软土地区居多。事故多表现为沉降量过大、倾斜超标、基础拉裂等现象。此类事故不光给后期修复增加难度, 还产生了为修复此部分缺陷而发生的巨额加固费用。岩土工程质量事故时常发生主要原因跟岩土工程这门学科的特殊性有关。一方面, 岩土工程专业性很强, 技术人员需要有很丰富的岩土知识, 才能提出合理并经济的设计方案。另一方面, 岩土工程有其地域特性, 每个地区的地质、岩层以及地下水条件都不一样, 技术人员不能盲目的搬课本, 套规范, 否则极易发生因设计方案不合理而导致的质量事故。本文所引用的工程实例就是一起因设计人员失误而导致的质量事故。此类设计失误隐蔽性较强, 通常随着主体结构的施工, 上部荷载的逐渐增大, 才慢慢凸显出来, 往往结构已经封顶了才发现地基沉降不收敛, 严重情况下, 不均匀沉降还导致建

筑物倾斜超规范, 不满足安全使用的要求。

对于软土地区既有建筑物地基基础加固来说, 基础托换法是用的最多加固方法。软土地区因其先天的地质条件较差, 基础托换一般选择桩基础托换, 根据既有建筑物工况有灌注桩、锚杆静压桩和微型树根桩等桩基托换工艺。本文以微型桩加固工程为实例, 通过对原有地基处理设计、施工、检测数据的解析, 阐述了软土地区, 地基处理方法选择的重要性, 通过对本加固工程前后监测数据的分析, 提出软土地区地基基础加固工程中设计和施工方法研究建议。

## 1 工程实例

### 1.1 工程概况

某别墅项目由 96 栋连排别墅组成, 别墅均为地上两层, 地下一层, 别墅各单元基础均采用梁板式筏形

基础，筏板厚度 300 mm，外侧基础上翻梁尺寸为 200 mm×1300 mm。内侧上翻梁为 200 mm×500 mm，天然地基承载力不能满足要求，结构设计要求地基处理后地基承载力特征值达到 100 kPa。该场地的土层物理力学指标见表 1，原地基处理方案为强夯。强夯检测报告显示，本工程场地处理已满足设计要求。2011 年 3 月份全部工程竣工后，项目现场进行场地平整道路修筑过程中，发现多数建筑发生不均匀沉降，少部分倾斜已超规范，大多数楼座发生不同程度的南北向倾斜。上部结构整体性尚好。建设单位提出对其他地基基础进行加固，个别严重超标的建筑进行纠倾<sup>[1]</sup>。

## 1.2 沉降原因分析

(1) 地基土不均匀

根据工程勘察报告，该工程场区原地貌为滨海浅滩~虾池，后经人工回填改造形成现有地貌。表层土体为杂填土和素填土，平均厚度约 1.8~2.5 m 左右，回填时间较短；下部为平均厚度约 3.0 m 的淤泥质土、平均厚度为 2.75 m 的粉质黏土及较厚的粗砂砾土，见图 1 典型地质剖面。为提高地基承载力，业主委托某地基处理单位对表层地基土体采用了强夯加固处理，要求处理后地基承载力特征值为 100 kPa。强夯后的地基检测报告知，地基严重不均匀。经分析，地层的不均匀跟选择地基处理方案和场地的施工活动有关。场地强夯处理过程中，夯机施工、移位、卸土车辆卸土过程中的来回碾压等，造成淤泥局部被挤出，回填土被挤入，回填土和淤泥质土层成波形分布。显然本工程不宜采用强夯处理方案，强夯对于较深层淤泥质土不能产生较好的加固效果。因此本工程强夯后基底土层参数并未显著提高，强夯施工活动又加重了基底土层不均匀性，在建筑物荷载作用下将会产生较大不均匀变形。

### (2) 荷载不均匀

根据建筑设计图纸可知，别墅正负零标高为 8.20 m，前侧为道路标高为 7.2 m，后侧为下沉式庭院，标高为 4.6 m，前后两侧标高不一致，导致两侧荷载不一致，荷载相差约 50 kN。由于地基处理不合格，软弱地基在边载不均匀条件下，亦会导致建筑物后期沉降不均匀。

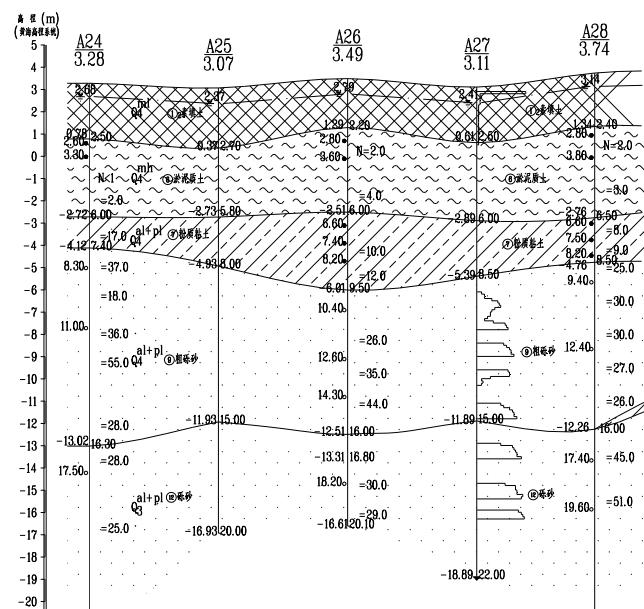


图 1 典型地质剖面图

Fig. 1 Section of typical geology

### 1.3 加固设计方案

结合项目现场工况，方案比选后选择用微型桩部分托换上部结构荷载，形成减沉复合桩基，以此来控制建筑物的沉降。以某栋 4 联排的别墅为例，微型桩设计按托换上部总荷载约 40% 考虑，因别墅南北两侧高差较大，设计桩长约为 9~12.5 m，桩端进入第⑨粗砾砂层不小于 0.5 m，桩身混凝土强度等级 C25，单桩承载力特征值不小于 200 kN，共需布置 73 根微型减沉桩，表 2 为减沉桩设计参数。经《建筑桩基技术

表 1 土层参数表

Table 1 Parameters of soil strata

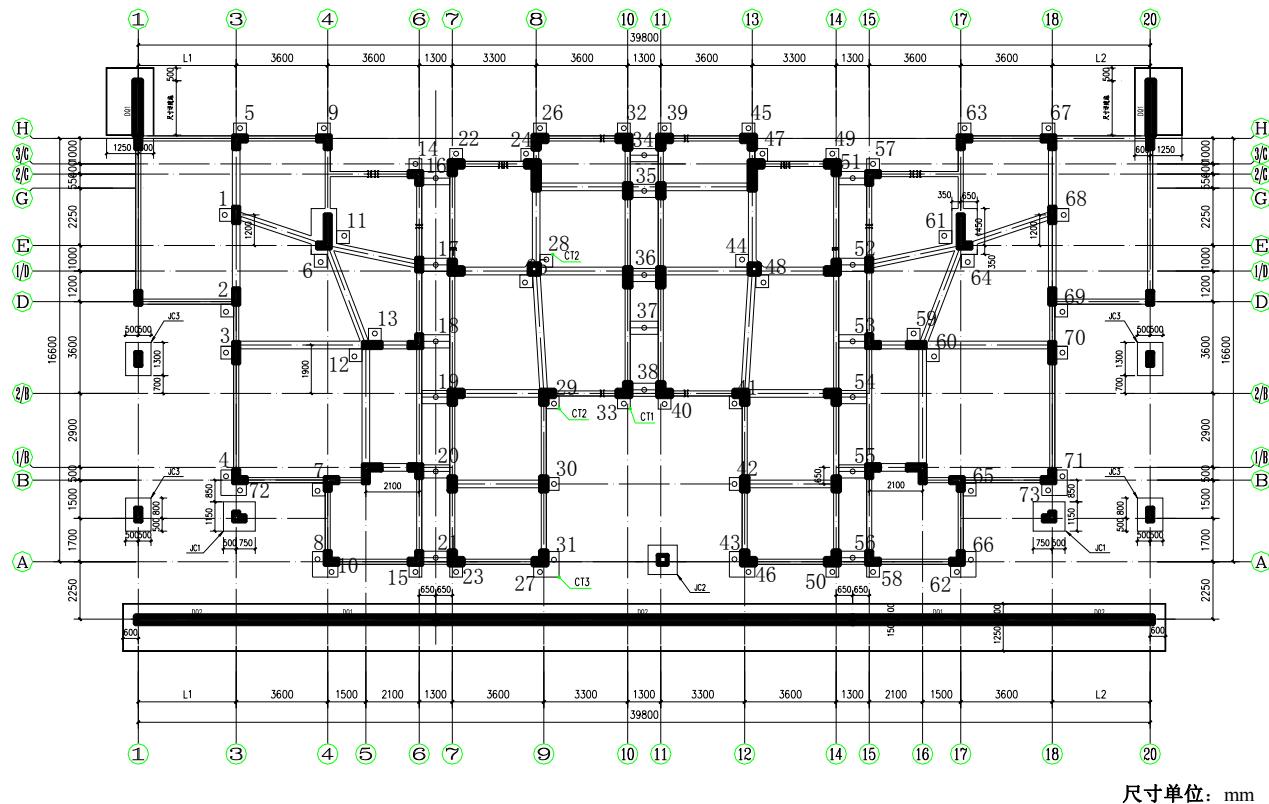


图 2 桩位布置图

Fig. 2 Section of arrangement of piles location

规范》<sup>[2]</sup>中复合桩基承载力计算公式及减沉桩变形计算公式验算, 微型桩处理后的复合桩基的承载力特征值为 200 kPa, 最终变形量为 20 mm。施工前进行了 3 根试桩(非破坏性试桩), 试桩报告显示单桩承载力满足设计要求, 根据表 2 设计参数在楼座的室内各柱、剪力墙等重点承重部位进行布桩, 桩位平面布置图见图 2。桩顶同原基础的上翻梁之间采用植筋浇筑承台连接, 承台采用 C30 微膨胀早强防水混凝土浇筑而成。

表 2 减沉桩设计参数

Table 2 The parameter of reducing pile

桩数	桩长 /m	桩径 /m	平均桩间距/m	桩帽 /(m×m)	基础形式
73	9/12.5	0.15	2.7	0.7×0.5	50 cm 厚的混凝土承台

## 2 施工过程控制

微型桩施工顺序的选择以及施工速度快慢亦会对建筑物沉降产生一定影响。施工前因本建筑物北侧荷载较大, 楼体向北侧倾斜, 且沉降速率较快, 沉降未稳定, 针对此种情况, 微型桩施工顺序调整如下: 先施工北侧的微型桩, 且尽量分散施工, 减小施工扰动引起的沉降, 中心线北侧桩施工完成后立即把微型桩和基础用钢筋混凝土连接起来。14 日后再施工楼座中

心线南侧部分微型桩, 加快施工速度, 以此来扩大南侧微型桩施工对楼座南侧沉降影响, 且成桩完成后, 不立即把桩基和基础相连, 待楼座倾斜趋于稳定时, 再把楼座南侧的微型桩和基础相连。第三方监测数据显示调整微型桩施工顺序, 控制施工速度, 可以部分调整不均匀沉降, 减小楼座的倾斜率。

## 3 监测数据分析

### 3.1 建筑物沉降量 - 时间曲线 ( $S-t$ 曲线)

图 3 为本建筑物沉降量与时间关系曲线图 ( $S-t$  曲线)。由沉降观测曲线可知: 自 2011 年 7 月 1 日开始监测楼座沉降, 至 2012 年 12 月 26 日, 楼座各观测点沉降一直未收敛, 且沉降速率较快, 2012 年 12 月 26 日, 加固单位开始微型桩施工, 从  $S-t$  曲线可看出此过程中, 各点的沉降速率增加, 至 2013 年 1 月 9 日微型桩施工完毕, 各沉降观测点的速率又降低, 并且慢慢趋于稳定, 封桩后 2013 年 8 月 9 日至 2014 年 8 月 9 日, 365 d 各沉降观测点几乎无沉降。平均沉降速率小于 0.01 mm/s, 据此可判断此楼座沉降已经稳定。实测楼座沉降稳定后后续平均沉降量约 15 mm(加固施工前至沉降稳定), 小于设计计算变形值 20 mm, 实测值基本和计算值基本相符。

### 3.2 楼座整体倾斜变化趋势

图 4 为建筑物主体倾斜变化曲线, 由图 4 可知,

自 2012 年 9 月 11 日起至 2012 年 12 月 26 日, 本建筑物倾斜一直在增加, 2012 年 12 月 26 日之后倾斜率仍继续上升原因是微型桩集中在楼座北侧施工, 扰动沉降导致楼座北侧沉降量加大, 倾斜值从 2.64‰ 增加到 2.9‰, 北侧微型桩施工完毕, 并把微型桩与基础连接后, 倾斜值暂时趋于稳定, 再继续进行楼座南侧微型桩施工, 且加快了施工速度, 扩大扰动沉降影响, 楼座南侧沉降量增加, 倾斜率逐步往回缩小, 直至最终稳定至 2.05‰。2013 年 6 月 8 日至今, 倾斜率一直稳定在 2.05‰ 左右, 倾斜值满足规范要求<sup>[4-5]</sup>。

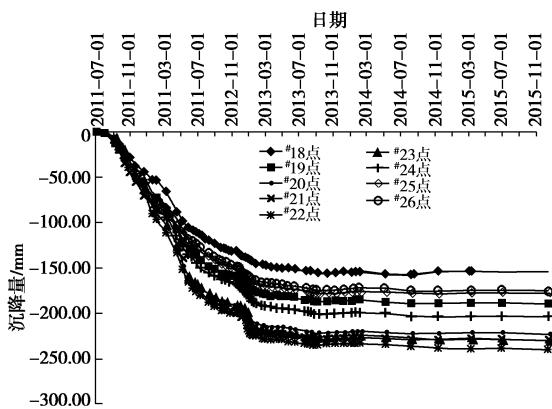


图 3 建筑物沉降 - 时间曲线 ( $S-t$  曲线)

Fig. 3 Settlement-time curve of buildings

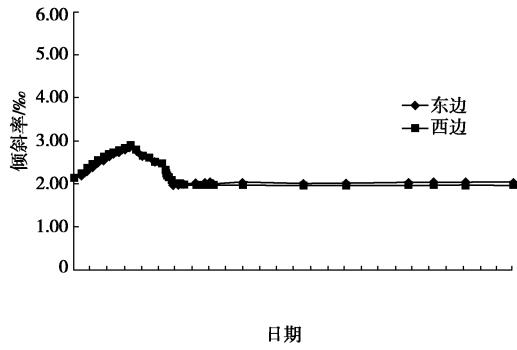


图 4 建筑物主体倾斜变化曲线

Fig. 4 Curves of inclination of buildings

## 4 结 论

就本次工程可以得出如下几点结论:

(1) 若存在深厚淤泥或淤泥质土情况, 不宜采用强夯地基处理方法。应采用刚性桩复合地基或者桩基础。桩基施工前应严格执行试桩程序。

(2) 低层建筑下软土地基采用微型桩减沉复合桩基处理方案可行, 以桩基承担上部结构 40% 的荷载为

设计原则进行复合桩基设计<sup>[6]</sup>, 比纯桩基础更具有经济性, 且能有效减少建筑物后续沉降, 满足控制地基变形及建筑物整体倾斜的要求。

(3) 微型桩减沉复合桩基对控制楼座整体沉降有显著效果, 但施工过程中应合理控制微型桩施工顺序和施工速度, 避免过度扰动地基。对纠倾有一定要求的工程应充分利用好桩基与承台的连接顺序。

(4) 由于条件限制, 本工程未能在楼座基础底部埋设土压力盒, 且未在微型桩内预埋钢筋计, 不能准确分析出桩、土承载力应力分担比。今后将在类似工程中增加基底反力和桩身应力的监测。

## 参 考 文 献:

- [1] JGJ123—2012 既有建筑地基基础加固技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. (JGJ123—2012 Technical code for improvement of soil and foundation of existing buildings[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2012. (in Chinese))
- [2] JGJ94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. (JGJ94—2008 Technical code for building pile foundations[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2008. (in Chinese))
- [3] JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (JGJ 79—2012 Technical code for ground treatment of buildings[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2012. (in Chinese))
- [4] GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (GB 50007—2011 Code for design of building foundation[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2011. (in Chinese))
- [5] GB 50300—2013 建筑工程施工质量验收统一标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013. (GB 50300—2013 Unified standard for constructional quality acceptance of building engineering[S]. Beijing: China Building Industry Press, 2013. (in Chinese))
- [6] 减沉复合桩基在软土地区的工程应用研究[J]. 建筑科学, 2016(增刊). (Engineering application research on composite pile foundation for reducing subsidence in soft soil area[J]. Building Science, 2016. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)