

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2021.03.013

【工程应用】

超长锚杆静压桩在建筑加层 改造工程中的应用

骆敏¹, 叶彬²

(1. 浙江拜司特建设工程施工图审查中心, 浙江 杭州 310030; 2. 浙江建院建筑规划设计院, 浙江 杭州 310006)

摘要: 通过杭州某小区改造项目的基础加固方案, 研究超长锚杆静压桩与原有工程桩相互作用原理, 借由长短桩复合地基承载力求解理论以及基于桩土相互作用原理推导出的长短桩沉降计算公式, 结合实际施工效果表明, 采用合理的施工技术措施使用超长锚杆静压桩, 能够有效控制基础沉降, 减少补桩数量。

关键词: 超长锚杆静压桩; 长短桩复合地基; 桩-土共同作用

中图分类号: TU470

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2021)03-0252-04

Application of the anchor jacked overlength-piles in the engineering of building addition and reinforcement

LUO Min¹, YE Bin²

(1. Zhejiang Best Construction Engineering Review Centre of Construction Drawing, Hangzhou 310030, China;

2. Zhejiang Jianyuan Architectural Design Planning Institute, Hangzhou 310006, China)

Abstract: According to the foundation reinforcement scheme of a residential area reconstruction project in Hangzhou, the interaction principle of anchor jacked overlength-piles and the existing piles is studied in this paper. Based on the theory of solving the bearing capacity of composite foundation with long and short piles, together with the formula for calculating the settlement of long and short piles, using the principle of pile-soil interaction, combined with the actual construction, the results showed that adopting reasonable construction technology and using the anchor jacked overlength-piles can effectively control foundation settlement and reduce the number of pile repairs.

Key words: anchor jacked overlength-piles; long-short-pile composite foundation; pile-soil interaction

0 引言

锚杆静压桩是锚杆与静压桩相结合的一种施工工艺, 目前主要应用于新建或已建建筑的地基加固补强, 地基不均匀沉降建筑物的纠偏处理, 以及新建工程的逆做法桩基施工等工程^[1]。

本工程上部荷载增加较大, 需要极大地提高地基承载力, 工程原有的短桩不满足承载力要求。由于已有结构的限制, 基础加固无法采用大型机械施工, 因此基础加固考虑采用施工设备简单, 适合狭小空间作业的锚杆静压桩施工工艺, 同时考虑荷载增加较多, 经过分析采用超长锚杆静压桩和原有工程桩间隔设置的方法, 以弥补地基承载力不足, 同时减少基础沉降^[2]。

新增超长锚杆静压桩、原有工程桩及层状场地之间相互作用机理复杂, 因此承载力计算及沉降计算则成为设计的难点。本文引入刚性桩复合地基设计的理论以求解长短桩复合地基承载力。对于新增荷载, 通过基础承载力求解及沉降计算可确定新增超长锚杆静压桩数量^[3-5]。

由于超长锚杆静压桩具有桩身长、桩节多、承载力高等特点, 使得锚杆静压桩在施工过程中存在一些难点。本文针对工程实际情况, 提出合理的施工技术措施, 以确保施工质量。

1 基础加固

本工程天工艺苑位于杭州市解放路南侧, 原有

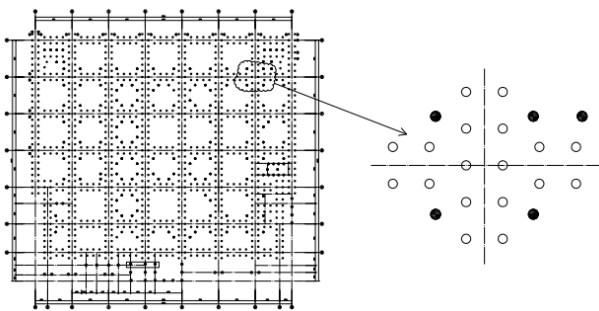
收稿日期: 2021-04-16

作者简介: 骆敏(1964—), 男, 浙江杭州人, 高级工程师, 主要从事地基基础研究、建筑结构设计及装配式建筑的设计研究工作。E-mail: 343334980@qq.com。

建筑面积约 23 000 m², 建筑高度 24.1 m, 层数地下 1 层, 地上 5 层。原有结构类型为板柱结构, 1 层地下室, 基础为夯扩桩, 桩径 Φ377, 桩长 6.5 m, 采用轴线布桩方式, 桩顶标高为-5.8 m, 桩端标高为-12.3 m, 共 1 086 根。单桩承载力设计值为 500。桩端伸入基础梁, 桩基混凝土强度等级为 C20。

现在在原有的 5 层混凝土结构上增加 7 层, 并在东南两侧各新增一跨, 加层后成为 12 层的高层建筑, 面积约 43 000 m², 建筑高度达到 49.9 m。改造后下面 5 层为板柱-剪力墙结构, 上面 7 层为钢框架-剪力墙结构, 为复杂高层建筑结构。由于上部荷载增加较大, 原有基础不满足承载力要求, 需要对基础进行加固。

基础加固方案必须能控制原建筑物的沉降量及不均匀沉降, 且能托换部分荷载以满足加层要求。由于已有结构的限制, 基础加固无法采用大型机械施工, 因此采用施工设备简单, 适合狭小空间作业的锚杆静压桩施工工艺, 采用 Φ400 预应力混凝土管桩, 桩长 41 m, 每节长度 2 m, 单桩承载力特征值 800 kN, 共布长桩 180 根。其桩位布置图如图 1 所示。



注: 图中白色圆表示原有桩, 黑色圆表示加固桩

图 1 桩位平面布置图
Fig. 1 Pile layout plan

结构原有桩基础持力层为砂质粉土、粉砂层, 如图 2 所示, 而其下为淤泥质粉质黏土层, 承载力仅 80 kPa, 压缩模量为 3.45 kPa 的高压缩性粉质黏土, 为软弱下卧层, 而且层厚为 1.30~11.00 m, 变化较大, 分布不均匀。建筑物西面厚度大, 东面厚度小。

基础补桩如仍选择砂质粉土、粉砂层为持力层, 则存在以下问题: 基础沉降量及沉降差均无法控制在规范许可范围内; 所补桩数较多, 对原结构地下室底板破坏较为严重; 挤土效应明显, 对原有基础及周围建筑影响较大。

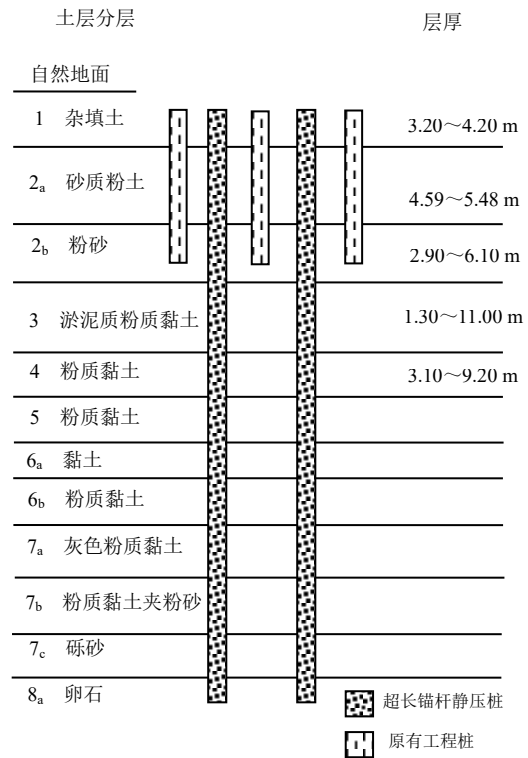


图 2 土层分布示意图
Fig. 2 Soil distribution diagram

因此经过分析, 本工程选用超长锚杆静压桩方案, 桩端持力层采用卵石层。超长锚杆桩与原有工程桩采取间隔设置, 以弥补地基承载力不足, 同时减少基础沉降。

2 基础承载力计算

建筑基底以下存在两个持力层, 原有工程桩桩端放在上层持力层(粉质黏土层), 新增锚杆静压桩桩端设置在下层持力层(卵石层), 因此基础在受力机理上形成了长短桩共同作用的复合地基形式。通常有长桩协力形式和长桩控沉形式两种长短桩复合地基的形式。

本工程由于原有短桩不满足承载力要求, 需通过长桩和短桩的间隔设置, 长桩的作用主要是弥补短桩加固后的地基承载力的不足。因此, 承载力计算模式可采用长桩协力形式的计算模式。同时长桩的设置也减少基础的沉降。

计算模式可根据刚性桩复合地基设计的理论和工程实践, 参照同一桩长复合地基承载力计算方法计算。基本方法即将短桩加固后的复合地基视为长桩复合地基的“桩间土”, 具体方法如下:

短桩复合地基“桩间土”的承载力计算公式(1)^[6]:

$$f_{spk1} = \frac{1}{A_1} [\alpha\beta f_k (A_1 - A_{p1}) + R_{k1}] \quad (1)$$

式中： f_{spk1} 为短桩复合地基承载力特征值； f_k 为天然地基承载力标准值； A_1 为短桩分担的总面积； A_{p1} 为短桩截面总面积； α 为桩间土强度提高系数； β 为桩间土强度发挥度； R_{k1} 为短桩承载力特征值。

长短桩复合地基承载计算公式：

$$f_{spk2} = \frac{1}{A_2} [\alpha\beta f_{spk1} (A_2 - A_{p2}) + R_{k2}] \quad (2)$$

式中： f_{spk2} 为长短桩复合地基承载力特征值； A_2 为长桩分担的总面积； A_{p2} 为长桩截面总面积； R_{k2} 为长桩承载力标准值。

3 沉降计算

在本工程中，由于原有工程桩的存在和新增超长锚杆静压桩长度不一致，因此基础在受力机理上形成长短桩共同作用的复合地基形式，基础的沉降需要考虑临桩沉降的影响，并由于桩长的一致使得群桩的沉降计算更为复杂。

设有层状场地中有桩 A、桩 B 两根桩，设桩 A 为超长锚杆静压桩，桩 B 为原有工程短桩，两桩间距为 S_d 。将它们沿桩长方向和土层一样划分单元，其中桩 A 划分为 n 单元，桩 B 划分为 m 单元，如图 3 所示。

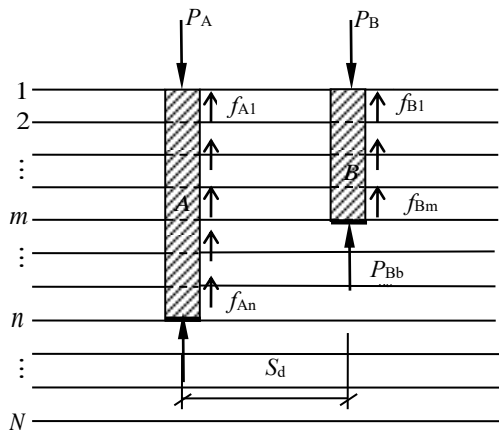


图 3 力学模型
Fig. 3 Mechanical model

桩顶受到垂直向下的荷载作用，土体对桩的反力作用表现为桩侧的环状荷载和桩端的盘状荷载。通过桩侧环状摩擦阻力和桩端盘状反力，桩体和土体受力表现为作用和反作用的关系，通过桩土的接触，桩体和土体保持竖向位移协调，则桩与土体的

荷载-位移关系表示为 (3)：

$$\begin{bmatrix} f_{k_{AA}} + (K_{PA} - e_{k_{AA}}) & f_{k_{AB}} \\ f_{k_{BA}} & f_{k_{BB}} + (K_{PB} - e_{k_{BB}}) K_{BP} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} W_A \\ W_B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_A \\ P_B \end{Bmatrix} \quad (3)$$

式中： W_A 及 W_B 分别为桩 A、B 的节点位移向量； P_A 及 P_B 分别为桩 A、B 的节点外荷载向量； K_{PA} 为桩 A 的总刚度矩阵，可采用有限元法将桩单元刚度矩阵组装得到； $e_{k_{AA}}$ 分别为及与桩 A 同体积开挖出土柱的总刚度矩阵； $f_{k_{AA}}$ 为桩 A 与土交界面处作用环形或盘状（桩底部）竖向简谐荷载时的刚度矩阵；而 $f_{k_{AB}}$ 为桩 B 与土交界面处作用环形（周边处）或盘状（桩底面处）竖向简谐荷载时在 A 桩土交界面上产生位移的刚度矩阵。 K_{PB} 、 $e_{k_{BB}}$ 、 $f_{k_{BA}}$ 、 $f_{k_{BB}}$ 可作出类似的定义。 $f_{k_{AA}}$ 、 $f_{k_{BB}}$ 、 $f_{k_{AB}}$ 与 $f_{k_{BA}}$ 可由环形荷载或盘状荷载的格林函数算出^[7]。

当采用场地中存在 k 根桩时，则桩土体系的平衡方程可以表示为：

$$\begin{bmatrix} f_{k_{11}} + (K_{1P} - e_{k_{11}}) & \dots & f_{k_{1i}} & \dots & f_{k_{1k}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{k_{i1}} & \dots & f_{k_{ii}} + (K_{iP} - e_{k_{ii}}) & \dots & f_{k_{ik}} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{k_{k1}} & \dots & f_{k_{ki}} & \dots & f_{k_{kk}} + (K_{kP} - e_{k_{kk}}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_i \\ \vdots \\ W_k \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_i \\ \vdots \\ P_k \end{Bmatrix} \quad (4)$$

采用式 (4) 能充分考虑土的层状性质对群桩沉降影响，同时根据土层性质、桩材料性质、及桩顶荷载能求出各桩头沉降量。

在本工程中可根据长短桩桩的材料、尺寸形成相应的刚度矩阵，代入式 (4) 可求解长短桩相互作用沉降计算公式。

由于原有荷载使工程短桩产生一定的沉降，通过新增荷载的分配可求解出加层后的相对沉降。

根据基础承载力计算及沉降计算，本工程确定新增锚杆静压桩采用 $\Phi 400$ 预应力混凝土管桩，桩长 41 m，每节长度 2 m，单桩承载力特征值 800 kN，共布长桩 180 根。

工程竣工后，现场监测的沉降量和计算沉降量比较接近。

4 超长锚杆静压桩施工

较常规的锚杆静压桩，该工程超长锚杆静压桩

存在以下一些特点: 超长, 桩身长度平均在 40 m 左右; 桩节较多, 平均 20 个左右; 高承载力, 单桩承载力特征值达到 800; 大直径, 桩身直径为 $\Phi 400$ 。

由于超长锚杆静压桩的这些特点, 使得锚杆静压桩在施工中存在一些难点。首先, 桩身要穿透砂质粉土、粉砂层, 压桩力较大; 其次, 桩长较长, 桩节较多, 垂直度比较难控制; 第三, 施工中挤土效应对原有基础将产生不良影响。

因此在施工过程中采取一些必要的施工技术措施, 以确保施工的顺利进行及施工质量。

桩身要穿透场地中的粉砂层, 如不采取措施, 其压桩力可能超过 2 000 kN, 这超过了 $\Phi 400$ 预应力管桩的桩身极限承载力。因此沉桩时不宜采用强行压桩, 可采用辅助沉桩技术。考虑到施工现场的条件约束(位于室内, 外部环境为闹市区), 采用干取土方式较为有利。在以不破坏原有工程桩的原则下, 用小型钻机配螺旋钻头取土引孔。这样既减少压桩力, 保证桩身不破坏, 又减少挤土效应对原基础的破坏。

针对桩长较长, 桩节较多, 垂直度难控制情况, 需要控制接桩的同心度和焊接速度, 采用新型压桩机 D-250 反力锚杆桩基, 该压桩机具有压桩力大、垂直度控制好等特点。

由工程实施情况看, 桩基施工过程中, 沉桩较为顺利, 且周边环境未出现明显变化, 本工程所采用的施工技术措施是可行且有效的。

5 结 论

(1) 结合该小区改造项目的基础加固方案, 探讨了超长锚杆静压桩在基础加固工程中的应用, 表明在上部荷载增加较大时, 超长锚杆静压桩在基础沉降控制及减少补桩数量方面较常规锚杆静压桩具有一定的优势。

(2) 考虑桩-土相互作用, 利用环状及盘状荷载作用下场地位移格林函数求解了场地的刚度矩阵, 并与桩刚度矩阵组装得到桩-土刚度矩阵, 进而给出复合桩基沉降计算公式。

(3) 超长锚杆静压桩在实际使用时存在技术难点, 需要针对超长锚杆静压桩的特点, 提出相应的技术措施, 保证超长锚杆静压桩施工的顺利

进行。

参考文献

- [1] 陈镭, 唐和生. 层状地基中的单桩沉降分析[J]. 上海力学, 1999, 20(3): 276-281.
CHEN Rong, TANG He-sheng. Settlement analysis of single pile in layered foundation[J]. Shanghai Mechanics, 1999, 20(3): 276-281.
- [2] 邓超, 龚晓南. 长短桩复合地基在高层建筑中的应用[J]. 建筑施工, 2003, 25(1): 19-20.
DENG Chao, GONG Xiao-nan. Application of composite foundation with long and short piles in high-rise buildings[J]. Building Construction, 2003, 25(1): 19-20.
- [3] 陈雪丹, 吴碧中. 横观各向同性层状场地静力问题[J]. 山西建筑, 2009, 35(15): 71-73.
CHEN Xue-dan, WU Bi-zhong. Static problems of transversely isotropic layered sites[J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(15): 71-73.
- [4] 刘毓斌, 陈福全. 锚杆静压桩在危险建筑物加固中的应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(1): 130-132.
LIU Yu-xi, CHEN Fu-quan. Study on application of static pressure anchor pile in reinforcement of dangerous building[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(1): 130-132.
- [5] 吴连祥, 陆海东, 陈琳玲. 锚杆静压钢管桩加固厂房桩基工程实例[J]. 地基处理, 2019, 1(2): 70-75.
WU Lian-xiang, LU Hai-dong, CHEN Lin-ling. A project of industrial plant pile foundation reinforced by anchor jacked steel pipe piles[J]. Journal of Ground Improvement, 2019, 1(2): 70-75.
- [6] 桩基工程手册编写委员会. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [7] 陈镭, 薛松涛, 陈竹昌, 等. 横观各向同性层状弹性场地格林函数的数值解[J]. 应用数学和力学, 2000, 21(1): 45-52.
CHEN Rong, XUE Song-tao, CHEN Zhu-chang, et al. Numerical solution of Green's function for transversely isotropic layered elastic field[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2000, 21(1): 45-52.