

某高层建筑桩基事故分析及处理^{*}

The analysis and treatment on pile foundation accident of some high building

张仲先 唐家祥 李 黎

(华中理工大学土木建筑工程学院, 武汉, 430074)

雷育祥

(华中理工大学建筑设计研究院, 武汉, 430074)

中图法分类号 TU 47

文献标识码 A

文章编号 1000-4548(2000)03-0362-03

作者简介 张仲先,男,1964年生。1986年毕业于华中理工大学土木工程系工民建专业,现为副教授,华中理工大学土木建筑工程学院博士研究生,一级注册结构工程师,主要从事结构工程和岩土工程方面的教学、科研及设计工作。

1 前 言

基础是房屋建筑的重要组成部分,它是承受上部结构荷重,并将荷重传递到下卧土层的结构^[1]。因此,基础(包括设计和施工)的好坏对建筑物的安全是非常重要的,对高层建筑来讲,尤其如此。现时,我国高层建筑的高度和数量在不断地发展^[2],其基础大多采用桩基加筏板或箱基,且高层建筑往往需要设置地下室,因而在施工过程中,要开挖深基坑。而深基坑的开挖往往会对桩基产生不利的影响,有时甚至造成严重的后果。本文即是介绍对武汉某高层建筑桩基在深基坑开挖时出现的事故进行加固设计的处理方法。

2 原设计介绍

该建筑物主体结构原设计为地上22层,地下一层的钢筋混凝土框架-剪力墙结构的写字楼,地下室地面标高为-4.80m。场地土的情况为:自然地面下有厚约21m的软弱土层,在软弱土层下为21~23m厚的砂层,其下有0.3~2.2m厚的砾、卵石层,45m以下为中等风化岩层。原基础设计采用直径为800mm的钻孔灌注桩,桩端位于砾卵石层面,有效桩长为36.6m,桩端采用压力注浆工艺以提高单桩承载力。单桩承载力设计值为5000kN,基桩总数为145根,采用柱下独立承台(独立承台间设有拉梁)和墙下局部片筏承台。承台上设置了一层500mm厚的防水底板并作地下室地面。基坑支护体系采用格构式粉喷桩,粉喷桩桩长10m,桩身及端部均位于软弱土层中,主要布置在基坑周边及坑内无基桩处适当部位组成格构式支护体系。基坑应开挖深度为7.1m,当开挖至5m左右时出现了比较严重的基桩事故。

3 事故现象及事故发生原因

该工程在进行深基坑的开挖过程中,发现大量基桩产生了不同程度的偏位和倾斜,基桩桩顶最大的偏位值达1240mm,经过低应变动力检测,发现许多桩为II、III类桩,其中III类桩有6根,偏位情况见表1。

表1 基桩偏位统计表

Table 1 The summary of foundation pile deflection

偏位值/mm	桩数	其中 III类桩数	有效桩数	所占比例/%
601 以上	11	1	10	7.59
361~600	23	2	21	15.86
151~360	57	1	56	39.31
101~150	23	1	22	15.86
100 及以下	31	1	30	21.38
Σ	145	6	139	100

桩群中,偏位及倾斜的分布情况大致为:基坑周边桩偏位值较大,偏位方向基本向坑内倾、偏,基坑中部桩偏位相对较小。

根据基桩偏位情况,有关行业规范^[3,4]、施工现场观察情况及对施工人员的了解进行分析判断,我们认为形成此次桩基偏位和倾斜的原因主要有以下几点:

(1) 基坑支护体系存在问题,该工程支护采用格构式粉喷桩,桩长为10m,整个桩身均置于软弱土层中,桩端没有得到嵌固。在基坑开挖时,坑周软弱土层产生侧向土压力使基桩向坑内方向产生倾、偏。这一点从现场支护粉喷桩向坑内产生较大倾、偏可以得到证实。

(2) 基坑范围内软弱土层没有采取适当处理措施,也是产生事故的原因之一。根据建筑桩基技术规范^[5](JGJ 94-94)的规定:“当承台周围为可液化土或极限承载力小于80kPa的软土时,宜将承台外一定范围的土进行加固”。由于该工程没有进行软土加固处理,使得基桩在较厚软土层中的抗侧约束能力不足,在侧压力作用下,容易造成桩身倾、偏。

(3) 基坑开挖顺序不妥,坑周有少量堆载。建筑桩基技术规范^[5](JGJ 94—94)同时规定“先沉桩后挖基坑时,必须考虑基坑挖土顺序、坑边土体侧移对桩的影响”及“软土地区的基坑开挖,基坑内土面高度应保持均匀,高差不宜超过1 m”。笔者认为,在特殊场地土中的桩基,其深基坑开挖时,应按顺序分层开挖,并在每层土体开挖过程中坚持对坑壁和基桩进行观测,做到发现问题及时处理。这种场地土的深基坑开挖时,坑周不仅不能堆载,还应根据情况尽量卸载,如场地条件许可时,在坑外适当范围内挖去适当数量的土体以达到卸载目的。

(4) 计划工期过紧,而基础施工实际工期过长。因时值1998年抗洪前的大降水时期,由于防洪建材紧张,武汉地区基建工程全面停工,该工程基坑开挖后未能及时进行后续工程施工,也可能是造成事故的原因之一。

4 事故加固设计的处理措施

本次桩基事故的处理是在保证安全为本的前提下,尽量减少事故处理费用为原则进行的。因而采取的处理措施是加固设计,即尽量利用已有桩的承载力,而不是全部弃之不用。加固设计的主要内容包括三部分:①补桩,在适当位置补一定数量的桩;②将原来柱(墙)下独立的承台改为整板式承台;③软土固化。

4.1 补桩

为了保证建筑物的安全,根据事故情况,加固设计必须进行补桩,补桩的关键要素是补桩的桩型及补桩的位置和数量。

(1) 补桩桩型的确定

将补桩桩型选择为与原设计桩径、配筋均相同的钻孔灌注嵌岩桩。

(2) 补桩的位置和数量的确定

要合理地补桩就必须查明原有桩的实有承载力,为此在加固设计前与有关单位共同完成并得到以下资料:①测绘桩的偏位图;②指定桩的静载试验及试验报告;③指定桩的高应变动力检测报告;④全部桩的低应变动力检测报告。

笔者依据这些资料进行了力学分析,认为这些偏位桩的倾、偏是以倾斜为主,而不以弯曲为主,即单桩桩身承载力此时并不是由桩身配筋来决定的。同时根据这些资料进行统计分析,并参照JGJ 94—94之规定,确定了原有桩的单桩承载力,具体如下:

a) 偏位值不超过150 mm的桩单桩承载力设计值取5 000 kN;

b) 偏位值在151~400 mm的桩单桩承载力设计值

取4 000 kN;

c) 偏位值在401~600 mm的桩单桩承载力设计值取3 600 kN;

d) 偏位值超过600 mm的桩单桩承载力设计值取2 000 kN;

e) 原坑内试桩(试验非破坏性)单桩承载力取5 000 kN;

f) II类桩不计其承载力。

同时本次加固设计还遵循了以下补桩桩位确定原则:

a) 周坑为补桩重点区域。因为坑周桩桩身偏位比较严重,同时将其作为抗倾覆和保证整体稳定性的配备手段。

b) 各柱(墙)下局部范围桩承载力不足处,在柱周边附近区域适当增补桩,并使之对称、协调。

c) II类桩附近增补“替桩”。

根据上述各桩承载力取值,并结合上部结构特点,按上述补桩原则进行了补桩设计。实际补42根桩径为800 mm的钻孔灌注桩,嵌岩1 m,同时,遵照武汉市建设专家委员会建议,另补锚杆静压桩21根,桩径377 mm,桩长20 m。

(3) 补桩后桩基安全性评价

笔者对桩基安全性进行了正、逆两种方法的评价。评价使用的桩基的设计荷载包括:原设计单位提供的柱脚内力值;地下室局部架空层及设备荷载;地下室外墙、水箱侧墙及水重量、地下室外承台上覆土重、承台重量。总计设计值为743 424 kN。

正过程评价:在总设计荷载的作用下,考虑桩与承台共同工作(由于是基础处理,未计入经固化后的地基土对整体承台的反力^[6]给桩带来的有利影响),将每根桩作为一个“桩单元”,刚性承台简化为把每根桩连起来的“梁单元”进行有限单元法计算。计算结果表明:承载力取值5000 kN的桩实际受荷为4400~4900 kN;承载力取值3600 kN的桩实际受荷为3300~3600 kN;承载力取值2000 kN的桩实际受荷不足2000 kN。

逆过程评价:各类桩承载力的总和为 $R = 834000 \text{ kN} > \gamma_0 S = 1.1 \times 743\,424 = 817\,766.4 \text{ kN}$ (γ_0 为重要性系数^[5])。

由上可知,无论正过程,还是逆过程分析均表明处理后该桩基承载力是满足要求的,其安全性已经得到保障。

(4) 补桩后计算及观测沉降量

依据地质勘察报告提供的各土层的物理力学性质,经过沉降计算得到承台各点的沉降量在28~34 mm之间,最大沉降差为6 mm。在施工过程中的详细

沉降观测表明, 沉降变化理想, 至结构封顶时最大不均匀沉降不足 4 mm, 说明桩基变形满足要求。

4.2 将原独立小承台改为整板刚性承台

整体刚性承台采用 2.5 m 厚的 C30 砼, 并在承台内柱网下设置纵、横暗梁系, 其跨高比不超过 3.5, 可视为刚性构件。当产生沉降时, 设计中可视补桩与原基桩变形协调一致, 共同受力。

本次加固设计采用刚性整板式承台是很有必要的, 主要体现在:

a) GBJ 11—89^[7] 之 3.3.10 条和 GBJ 7—89^[6] 之 7.4.2 条的相应规定;

b) 有较强的调整不均匀沉降的能力, 加强了整体稳定性和抗倾覆能力;

c) 可协调各单桩的受荷, 保证全部单桩均有效参与工作, 在各种荷载组合下, 根据各桩的荷载—沉降关系之不同能合理分配其受荷大小, 并与基坑内的群桩组成空间受力体系;

d) 原工程桩倾斜与偏位的不规则而产生的水平分力可以通过整体承台来调节平衡(斜桩的偏斜总体情况是四周向中间偏斜), 这样避免了独立承台下各斜桩可能出现的水平分力使基础本身不能承担而需上部结构来抵抗, 从而给上部结构造成的不利影响;

e) 采用整板式承台, 以利于承台底板下部经固化处理的地基土发挥承载作用, 有利于减小单桩受荷。

上述各点是仅由拉梁连系的单独承台所不可比拟的, 同时设置整板承台后, 原设计 500 mm 厚的防水底板已取消, 既节省又具有更好的防水效果。

4.3 将承台底以下一定深度的软土固化处理

根据建筑桩基技术规范^[5](JGJ 94—94)的要求: 当平台周围为极限承载力小于 80 kPa 的软土, 宜将承台外一定范围的土进行加固, 也为了保证补桩的成桩质量和补桩后基坑再次开挖时基坑的稳定, 应对软土进行固化。笔者结合地质条件和软土固化处理技术人员的意见确定, 对承台底板以下 6 m 深的全基坑范围内的软土采用水泥—水玻璃注浆进行加固处理并要求软土处理后其 $f_k \geq 100$ kPa, $E_s \geq 5.0$ MPa。

5 结 语

桩基是高层建筑最常用的基础形式之一^[2], 桩基质量的好坏对建筑物的安全和造价的影响是非常大的, 软弱地基土的桩基施工尤其如此。通过本次桩基加固设计, 使笔者有了一些深刻的认识。首先, 设计和施工必须严格执行各有关规范和规程之相应规定, 避免事故的发生, 对有深基坑的项目, 其深基坑的支护体系的设计和施工应合理; 其次, 当桩基事故发生后, 应当认真分析事故的形成原因, 对事故表象做深入、细致的分析、研究, 对处理措施应做到安全、经济、合理。在本次事故的处理过程中, 也有其它的一些处理意见, 如进行全面补桩, 其补桩率甚至达 90%, 我们通过分析比较后认为这种方案是不可取的, 虽然其安全性也能得到满足, 但其造价要高得多, 工期也相对更长一些, 某些方面效果也不好。本次加固处理方案的确定多次反复咨询了当地的一些专家、教授及专家委员会, 得到了他们的帮助和指导, 并得到建设单位及施工单位的充分肯定。这项软弱场地土中的桩基事故处理方法可供类似工程的基础处理设计时参考。

参 考 文 献

- 1 陈仲颐, 叶书麟. 基础工程学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991
- 2 赵西安. 钢筋混凝土高层建筑结构设计. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992
- 3 中华人民共和国建筑部. JGJ 3—91 钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991
- 4 中华人民共和国建设部. JGJ 72—90 高层建筑岩土工程勘察规程. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991
- 5 中华人民共和国建设部. JGJ 94—94 建筑桩基技术规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- 6 中华人民共和国建设部. GBJ 7—89 建筑地基基础设计规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989
- 7 中华人民共和国建设部. GBJ 11—89 建筑抗震设计规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989