

软土地区基坑开挖引起桩基质量问题的判定与处理

郭月亮, 田少坤

(河北建设勘察研究院有限公司, 河北 石家庄 050031)

摘要:软土地区在基坑开挖时常常引起桩基破坏等工程问题,特别是在沿海、沿江等软土地区发生较多。以江苏一个沿江电厂为工程实例,通过对桩基位移和桩身裂缝的数据统计分析,揭示了基坑开挖时桩基发生移位、倾斜甚至断桩的真实原因。通过桩基取芯试验、超声波试验和开挖验证找到了产生桩身缺陷的原因。此外还结合工程实例,提出了桩基出现质量问题时,可采取补强注浆的方法进行补救和处理,实践证明提出的处理方法效果良好。

关键词:基坑开挖;桩基;土拱效应;桩身缺陷;补强注浆;软土地区

中图分类号:TU473.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)06-0059-04

Judgment of Quality Problems of Pile Foundation Caused by Excavation in Soft Soil Region and the Treatment/
GUO Yue-liang, TIAN Shao-kun (Hebei Research Institute of Construction & Geotechnical Investigation, Ltd., Shijiazhuang Hebei 050031, China)

Abstract: Pile excavation damage often occur because of soft ground, especially in the regions along coast and river. Based on an engineering construction case of coastal power plant, by the statistical analysis on the data, this paper reveals the real reasons of pile foundation displacement, tilt and even broken while excavating. The excavation pile defects were found out by foundation pile core testing, ultrasonic testing and excavation validation. And according to the engineering case, it was put forward that reinforcement grouting methods could be taken for remedy and treatment, which was proved to be effective.

Key words: foundation pit excavation; pile foundation; soil arching effect; pile defects; reinforcement grouting; soft ground region

由于沿江、沿海地区交通运输的便捷,很多大型项目的选址都在该地区,如大型电厂、煤储运码头、LNG 储运站等大型工业项目。但往往沿江沿海地区的地质条件非常复杂,特别在沿江地区,上部有较厚的淤泥质土,地质条件很差。在这些地区的基础形式一般为桩筏基础,桩基的工作量很大。工业项目的桩基施工一般在基坑开挖之前进行,在完成桩基施工后,再进行基坑开挖。由于软土层较厚,在基坑开挖过程中,土压力的应力释放很大,如果不采取相应的施工措施,开挖时土体对桩基的影响较大,很容易造成桩基缺陷,影响工程质量。

本文主要以土体开挖引起的侧向力对桩基的影响为重点,分析了开挖方法不当的情况下,为什么会造成桩基侧向位移、断桩等事故。发生工程质量事故后如何进行桩身缺陷的检测和判定,采用什么样的分析方法。对于缺陷桩如何进行处理,如何进行补强,从而使桩基满足使用要求,保证工程质量。

1 工程概况

江苏沿江一个电厂 2×1000 MW 机组工程,由于天然地基无法满足建(构)筑物对沉降的要求,设计为钻孔灌注桩,成孔工艺为旋挖成孔。厂址位于长江南岸,地形破碎,主要为成片的鱼塘,开挖鱼塘时将所挖土层堆筑在鱼塘埂上,埂高一般为 $4.30 \sim 5.20$ m。鱼塘深度一般为 $2.00 \sim 3.00$ m。地表为约 2 m 厚的回填土层,其下为流塑状态的软土层,厚度为 $8 \sim 9$ m。

由上述地层情况可以看出,上部 10 m 范围内土层处于软塑—流塑范围内,地下水位较高。钻孔灌注桩桩径 800 mm,桩长依据基岩面的深度确定为 $36 \sim 42$ m,桩端位于强风化花岗岩上。桩基主筋为 $12\text{Ø}16$,箍筋为 $\text{Ø}8@100(200)$ 。锅炉房区域单桩竖向抗压承载力极限值为 6300 kN,水平承载力特征值为 120 kN,采用筏板基础。

钻孔灌注桩施工时采用振动锤沉入 $\text{Ø}880$ mm、长 12 m 的钢护筒,护筒底部沉入④粉土夹粉质粘土

收稿日期:2015-01-19; 修回日期:2015-04-03

作者简介:郭月亮,男,汉族,1982年生,岩土公司副总经理,工程师,注册一级建造师、造价工程师、安全工程师,硕士,从事岩土工程设计施工和岩土工程科研管理工作,河北省石家庄市建华南大街58号,chinaguoyueliang@163.com。

1 m 以上。采用旋挖钻机进行施工,施工过程中工程质量控制良好,满足设计图纸和规范要求。

2 基坑开挖过程

以锅炉区域作为重点进行分析。在钻孔灌注桩施工完成后,进行了基坑开挖。在锅炉部位开挖过程中没有对边坡进行加固处理,直接进行开挖,开挖前采用管井进行降水,井深 15 m,井间距 25 m。抽水 3 天后进行开挖。开挖时采用 PC220 型挖掘机,整机质量 24.2 t,土方运输车的车斗容量为 18 m³。

开挖分 2 步,第一部挖深 2.0 m,第二步开挖至设计基底标高,挖深 2.75 m。边坡按 1:1 放坡。开挖范围内各层土厚度分别为:素填土 0.7 m、软塑—可塑粉质粘土 1.4 m、流塑淤泥质粉质粘土 2.65 m。开挖后,随着基坑边坡土体的移动,坑顶外侧土体逐渐开裂,变形稳定后可辨裂缝宽达 200 mm,窄处有 10 mm,影响范围由基坑顶边向外达 12 m。

3 开挖后的桩基桩位偏差及横向裂缝情况

3.1 桩位偏差

1 号锅炉开挖完成后,分批对桩位偏差进行了测量,测量桩基根数为 466 根,桩位偏差量最小为 4 mm,最大为 782 mm。由表 1 中数据可以看出桩位偏差在 151~300 mm 的为总桩数的 42.7%,80% 的桩位偏差在 100 mm 以上,严重影响了工程质量。桩位的偏差说明了在基坑开挖过程中水平推力的存在。

表 1 桩位偏差分级表

桩位偏差/mm	桩数/根	占总桩数的百分比/%
0~99	94	20.2
100~150	115	24.7
151~300	199	42.7
301~500	50	10.7
501~800	8	1.7

3.2 横向裂缝

在开挖完成凿除桩头后,对 1 号锅炉房地段的 466 根旋挖钻孔灌注桩全部进行了低应变测试。测试结果显示锅炉房地段 I、II 类桩共计 159 根,III 类桩 188 根,IV 类断桩 119 根。III、IV 类桩占了总桩数的 66%,都是有横向裂缝甚至断桩,存在严重缺陷。

对 466 根桩的低应变数据分析发现,存在横向裂缝的桩中,裂缝位置在 4~6 m 的占 59.4%,浅于 4 m 的占 34.3%,深于 6 m 的占 6.3%。通过数据

分析可以得出裂缝位置都集中在桩身上部。

4 基桩缺陷验证

为查明造成桩基质量问题的原因,在以下几方面进行了判定:检验桩身混凝土的完整性、存在缺陷的性质、严重程度和准确位置,检查低应变检测结果的准确性,推断产生断桩的原因。采用了 3 种方法对基桩缺陷进行验证,在桩身进行钻心取样、在桩顶钻孔进行超声波检测和对缺陷桩进行开挖直观检查。

4.1 取心验证

共设置取心验证桩 5 根,每根桩 2 个钻孔,钻孔深度超过低应变确定的缺陷位置处 1 m。5 根桩的大部分心样呈柱状,连续、较完整,胶结较好,表面光滑,骨料分布均匀。仅有极少量心样呈蜂窝麻面状,且有少量气孔。低应变检测出的缺陷位置处混凝土完整性较好。表明在桩基施工过程中混凝土的完整性不存在问题,桩身裂缝不是在施工过程中形成的。

4.2 开挖验证

为进一步查明产生裂缝的原因,对于检测有缺陷的 2 根桩进行了开挖验证。桩径为 800 mm,在开挖时采用在桩身外用振动锤下入一直径为 2.3 m 的钢护筒,在桩身和钢护筒之间有 0.75 m 左右的空间,以便进行检查和摄像。由于缺陷位置较浅,裂缝出现的位置一般在 4~6 m,护筒与桩身间的淤泥采用水冲法排出,开挖深度控制在 9 m 左右。通过低应变检测确定的缺陷位置外露后,进行人工检查和摄像。如图 1、图 2 所示。

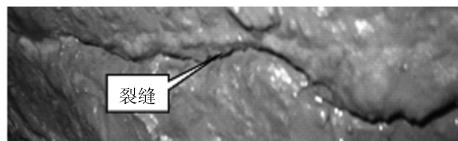


图 1 开挖造成的桩侧水平裂缝局部 1

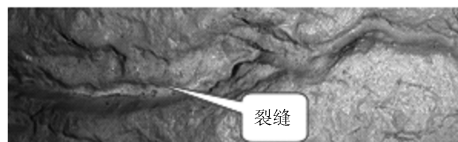


图 2 开挖造成的桩侧水平裂缝局部 2

开挖结果表明,两桩分别在桩顶下 4.2、5.5 m 处存在一道水平向裂缝,肉眼可辨的裂缝约占桩身周长的 60%,裂缝最宽处达 8 mm。裂缝的开裂方向和桩基的倾斜方向一致,很明显造成桩身裂缝的

原因是由于桩受到了巨大的水平外力作用,超过了桩本身的水平抗力,造成桩基裂缝的形成。

4.3 声波透射法验证

为进一步验证是否是由于外力的原因造成的桩基缺陷,对由低应变检测出有缺陷的18根桩进行了声波透射法检测。在每根桩的桩身上按照等边三角形布置,钻3个直径为100 mm的孔,孔深8~10 m。超声波检测严格按照检测规范进行。超声波检测结果表明,桩身混凝土完整、无缺陷,混凝土强度满足设计要求,除水平裂缝外桩身无其它缺陷。

4.4 小结

3种方法的综合验证表明:桩身上存在一道水平向裂缝,无其它缺陷。低应变检测时检测波在此裂缝面上反复反射,造成低应变检测异常。通过开挖验证,有力的证明了桩身的横向裂缝是在外力的作用下形成的,为分析造成裂缝的原因提供了事实依据。

5 基坑开挖对桩基影响的分析

经过细致的分析,和对现场的勘查,从桩基施工完成到基坑开挖后,产生的水平外力主要来自基坑开挖引起的土压力,从主动侧压力、超孔隙水压力和土拱效应对桩基的影响3个方面进行分析。

5.1 主动侧压力对桩基的影响

采用挖土机挖土时,集中一处开挖,并将挖出的土堆在基坑边坡附近,因而产生侧向压力,加之软土的流动性及土体中未消散的超孔隙水压力的释放,导致软土向开挖方向流动,而桩基承受水平力的抵抗能力较弱,于是随着土体的位移而向基坑开挖方向倾斜,造成桩顶位移,严重的会将桩下部折断。开挖过程中的分层厚度过大,土体中弹性能的释放过快,造成土体对桩的水平推力过于集中也是发生桩基位移的重要原因。一次开挖深度较深,应力释放较快,侧压力较大。

5.2 超孔隙水压力影响

超孔隙水压力急剧升高,在淤泥层中蓄积了大量的弹性能。本工程表层2 m为硬壳层,其下为9 m左右的流塑状淤泥,桩基施工过程中旋挖钻机的行走、履带吊车、采用振动锤埋入钢护筒时的振动、土方开挖过程中的挖掘机行走、重型运输车的土方运输等作业使地面发生较大沉降,造成淤泥层中的超孔隙水压力急剧升高,在淤泥层中蓄积了大量的弹性能,且在短期内难以消散。土方开挖时,桩体一侧的淤泥被挖

除,淤泥层中承受的应力得到快速释放。在开挖面以上,桩体的另一侧(靠土侧)承受淤泥层中蓄积的弹性能、超孔隙水压力和主动土压力,产生了对基坑内桩基指向开挖侧的水平压力(推力),而基底淤泥层对桩基抵抗此推力的反力很小,从而导致基坑内桩基向开挖侧发生水平位移,位移发展到一定程度,桩基就会断裂,在一定深度上产生水平裂缝。

5.3 土拱效应影响

流塑状淤泥变形引起的土拱效应放大了对桩基的水平推力。土拱效应是应力从已经屈服的土向没有屈服或附近刚性桩的传递过程,也就是开挖过程中淤泥土体由于承受挖土荷载、塑性屈服和流变等因素的影响,使淤泥土体发生侧向移动,产生桩与土的相互作用,桩后淤泥土中的应力逐渐转移集中到桩基身上,而基坑内桩基的存在限制了受荷土体的侧向移动,从而使桩基发生侧向位移。

土拱效应和时间有一定的关系,随着时间的增长,土体的位移逐渐增大,桩基分担的荷载逐渐增加,桩基的位移也逐渐增大。开挖过程中停顿区附近的桩基位移较大,形成基坑后,坑边一些桩基的位移不明显,但几天后桩基位移明显增大,这些现象也证明上述关系。同时,降雨增大了边坡土体的含水量,加速了土体流变也有一定关系。

6 缺陷桩处理方法

通过桩基极限承载力试验,单桩竖向承载力满足设计要求,说明横向裂缝对竖向承载力影响很小。但水平裂缝占桩身面积的60%,势必对桩的水平承载力(抗剪能力)产生直接影响。由于横向裂缝的存在,桩基水平承载力不满足设计要求,应进行处理。

6.1 加筋注浆补强法

为弥补水平承载力,对缺陷桩基采用了钻孔加筋注浆补强法。补强采用在每个钻孔中下入直径80 mm的钢管,然后注入高强度水泥浆,冲填水平裂缝和钢管外的钻孔。每个存在裂缝的桩布置补强钻孔2个,钻孔布置在距桩中心200 mm的圆周上,钻孔边距钢筋笼100 mm,钻孔直径108 mm。具体见图3,补强后形成的桩体结构见图4。

钻孔深度按比低应变确定的横向裂缝位置深1.0 m进行控制。补强采用在每个钻孔中下入公称口径80 mm壁厚4 mm的焊管,钢管长度为2.0 m,钢管底口位于裂缝下1.0 m。钢筋放入孔内后注入

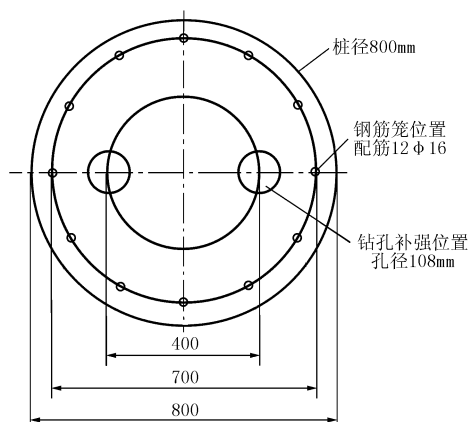


图3 补强钻孔位置图

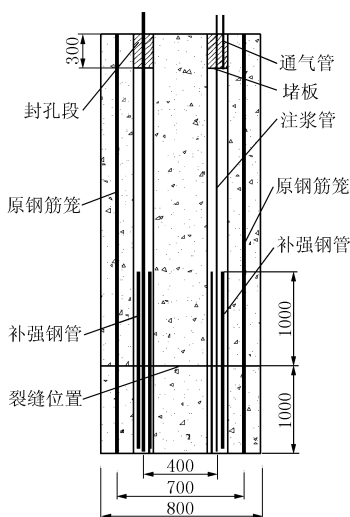


图4 补强后的桩体结构

高强度水泥浆,水泥浆中掺入水泥用量10%的膨胀剂,以减少水泥浆凝固体的收缩。水泥浆的水灰比采用0.42。

补强施工过程如下。

(1) 钻孔。采用岩心钻机, $\varnothing 108$ mm 钻头,从桩顶连续钻心取样,直到裂缝位置以深1.0 m。应注意钻孔的垂直度,防止破坏桩体的钢筋笼。

(2) 洗孔。钻心后分别对各孔压注清水、封闭加压,最大压力控制在1.0 MPa,将钻孔冲洗干净,直到出水无混浊和碎屑出现。洗孔时间 ≤ 15 min。

(3) 放入加固钢筋。将加固钢筋用铁丝绑扎成钢筋束,将钢筋束的底标高放至裂缝位置下1.0 m。

(4) 注浆。注浆管采用DN20管,壁厚3 mm,注浆管要通至孔底,排气管应通至止浆位置以下100 mm,注浆终止压力控制在2~4 MPa,注浆完成后应

采取有效措施防止浆液回流,必要时进行二次补浆。

6.2 补强后的效果检测

处理完成后选取3根桩进行了单桩水平静载荷试验,水平临界荷载平均值130 kN,极差30 kN,小于其平均值的30%,最终确定单桩水平临界荷载为130 kN。处理完成后单桩水平承载力满足设计要求。

7 结论和建议

通过对江苏沿江一个电厂的工程实践进行的深入分析,在深厚软土地区开挖时应引起高度注意,避免大面积缺陷桩的出现。通过对主动侧压力的分析及各种因素的综合考虑,明确了引起桩基缺陷的原因。采用补强注浆法对由于横向裂缝造成的缺陷加固效果良好。

在软土地区开挖基坑时,要时刻注意开挖时土体流动对桩基质量的影响。制定合理的开挖方案,经过论证后再进行开挖。补强注浆法能够较好的处理横向裂缝对水平承载力的影响,为此类工程问题提供了很好的借鉴。

参考文献:

- [1] 徐情根,徐醒华,梁朝晖,等.深基坑开挖对坑底桩基的影响[J].广东土木与建筑,2006,(1):33-34.
- [2] 张亚奎.深基坑开挖对邻近建筑物变形影响的研究[D].北京:北京工业大学,2003.
- [3] 杨敏,周洪波,杨桦.基坑开挖与临近桩基相互作用分析[J].土木工程学报,2005,38(4):91-96.
- [4] 郑刚,颜志雄,雷华阳,等.基坑开挖对临近桩基影响的实测及有限元数值模拟分析[J].岩土工程学报,2007,29(5):638-643.
- [5] 胡琦,凌道盛,陈云敏,等.深基坑开挖对坑内基桩受力特性的影响分析[J].岩土力学,2008,29(7):1965-1970.
- [6] 肖军华.软弱地层深挖基坑中工程桩与流动土体的相互作用[D].江苏南京:南京工业大学,2005.
- [7] 黄伟达.堆载作用下被动桩与土体相互作用研究[D].福建福州:福州大学,2005.
- [8] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].
- [9] 唐世栋,何连生,叶真华.软土地基中桩基施工引起的侧向土压力增量[J].岩土工程学报,2002,24(6):752-755.
- [10] 谢石连,丁其锋,卢玉南.钻孔灌注桩在软土地区深大基坑围护工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):59-63.
- [11] 杜长春,周喜峰,焦德智.某大型软土深基坑围护中多种支护技术的优化组合[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(5):59-62,65.