

岩溶场地大面积灌注桩事故的加固处理

吕文龙

(广东省建筑科学研究院集团股份有限公司,广东广州 510500)

【摘要】 某工程在岩溶场地上进行灌注桩施工,由于桩底溶洞的存在引起大批灌注桩的竖向承载力不满足设计要求,采用刚性-亚刚性复合地基法成功处理了该事故,即将原灌注桩作为刚性桩,新增长螺旋灌注桩作为亚刚性桩共同承载,加固处理后,复合地基承载力满足规范和设计要求。

【关键词】 灌注桩;桩基事故;加固处理;岩溶场地

【中图分类号】 TU 443

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2017.03.009

Reinforcement of Massive Cast-in-place Piles Accident in Karst Area

Lv Wenlong

(Guangdong Provincial Academy of Building Research Group Company Limited, Guangzhou 510500, Guangdong, China)

【Abstract】 When the cast-in-place piles construction occurs in karst area, the vertical bearing capacity of massive cast-in-place piles fail to meet the design requirements due to the caves under the piles. Therefore, this thesis discusses a rigid and semi-rigid composite foundation method, mixing the former cast-in-place piles are taken as the rigid piles with the latter long-spiral piles are taken as the semi-rigid ones, which successfully avoids the piles accident.

【Key words】 cast-in-place pile; pile accident; reinforcement; karst area

0 引言

在岩溶场地上施工的灌注桩,抽芯检测时经常会发现有的桩基桩端持力层范围内存在溶洞,在事故桩数量不多的情况下,一般可采用注浆或补桩的方法解决^[1]。但如果事故桩的数量较大,甚至大面积出现时,上述两种方法的经济性较差,本文结合一个工程案例,采用复合地基的思路解决了溶岩场地上大面积桩基事故问题,可供类似工程借鉴。

1 工程概况

广州市花都区某办公楼工程为连体的1号楼和2号楼组成,建筑面积42 182 m²。1号楼为三层钢筋混凝土框架结构,2号楼为六层(地下一层)钢筋混凝土框架结构。该工程所在场地地质复杂,溶洞发育。

该结构基础形式采用直径1200 mm的冲孔灌注桩,于2014年4月开始施工,至2014年10月完成215根冲孔灌注桩施工。桩基施工完成后按国家相关规范^[2-4]、质量监督部门的有关要求,采用小应

变、超声波透射、钻芯、静载试验等四种方法对冲孔桩进行了检测。小应变(抽检比例80%)、超声波透射(抽检比例20%)、钻芯(抽检比例10%)等检测方法反映冲孔桩桩身完整、质量完好。但是钻芯检测发现桩底持力岩层普遍存在溶洞,不符合设计要求。经过参建各方对进行钻芯检测的桩号中选取地质条件相对较差、桩底持力岩层存在溶洞的3根冲孔桩,按设计要求进行静载试验,2号楼的168号、176号等2根冲孔桩的承载力特征值为6800 kN(最大加载试验值13 600 kN),1号楼的104号冲孔桩的承载力特征值为4760 kN(最大加载试验值9520 kN),单桩承载力均达不到设计图纸要求的特征值8500 kN(2号楼)、9500 kN(1号楼)。

广州市花都区石灰岩岩溶非常发育,溶洞多且不规则、多层分布,连通性好,俗称鸡窝状溶洞。在岩溶地区,曾有工程采取在同一桩位的范围内同时钻三个超前探孔(一桩三孔),桩基施工完成后采用钻芯法检测时,仍然发现桩底持力岩层存在溶洞。经对

基金项目:住房与城乡建设部科技计划资助项目(No. 2011-k3-21)

作者简介:吕文龙,男,1981年生,博士,正高级工程师,注册土木工程师(岩土),一级注册结构工程师,主要从事工程加固改造方面的研究。E-mail:midworm@163.com

本工程在地质勘察资料、冲孔桩施工过程中、桩基检测结果的分析,根本原因在于溶洞地质的复杂性,需对溶洞地基进一步处理。溶洞处理的常规方法有溶洞注浆、加桩、更换桩型等。

2 工程地质条件

工程场地位于广州市花都区花山镇,属珠江三角洲冲积平原区,场地南侧为 50 m 主干道规划道路,场地北侧为 20 m 次干道规划道路,西侧为安华中路,东侧为安华东路,场区内地形较平坦。

根据 52 个钻孔揭露所取得的地质资料,经综合整理,将场地岩土层自上而下划分为:人工填土、冲积层、残积层及石炭系下统石磴子组基岩等四大类。

人工填土层为素填土,呈灰褐色等,主要由黏性土混碎岩块回填组成,稍湿,呈松散状,未经压实,平均厚度 3.14 m。

第四系冲积层由粉质黏土(可塑)、粉质黏土(硬塑)、粗砂组成。粉质黏土(可塑)。推荐地基承载力特征值 f_{ak} 取 160 kPa。粉质黏土(硬塑)。推荐地基承载力特征值 f_{ak} 取 200 kPa。粗砂推荐地基承载力特征值 f_{ak} 取 180 kPa。场地共发现 110 个桩位存在粗砂层,占比 52%,粗砂层最厚 6 m 多。

残积层由灰岩风化而成的黏土、粉质黏土,褐红色、灰色等,湿,可塑,局部流塑,黏性一般,遇水易软化,含少量灰岩碎屑。推荐地基承载力特征值 f_{ak} 取 140 kPa。

石炭系下统石磴子组基岩,岩性为灰岩,为微风化岩带,灰色、灰白色,隐晶质结构,层状构造,岩芯呈柱状,局部块状,岩质新鲜坚硬,局部存在裂隙,少数岩芯侧面见溶蚀现象(溶孔或小溶槽),岩芯多见灰白—白色网格状或树枝状方解石细脉。本层部分钻孔中存在溶洞。推荐岩石天然单轴极限抗压强度标准值 f_{rk} 取 25 MPa。属较硬岩,岩石基本质量等级为Ⅲ。

本场地的不良地质作用发育,表现为土洞、溶洞、溶蚀裂隙。1 号楼和 2 号楼共 215 个钻孔(一桩一孔),有 5 个钻孔存在土洞,有 152 个钻孔存在溶洞,溶洞见洞率约为 73%,其中 28 个桩位存在多层溶洞。溶洞顶板深度 18.5~22.5 m,溶洞垂直高度为 0.3~6.0 m。钻探揭露溶洞有三种类型:充填溶洞、半充填溶洞及空洞。充填溶洞及半充填溶洞,充填物以砾砂及黏性土为主,混灰岩碎块及砂粒,部分溶洞充填物钻探时钻具自沉或人工加压可压下,其承载力极低。土洞、溶洞之间和溶洞、落水洞与上覆土层之间存在较好的连通性,对地层稳定很不利,容

易引发坍塌。

3 灌注桩原设计和施工情况

本工程冲孔灌注桩的桩身混凝土强度设计值为 C35,共布置冲孔灌注桩共计 215 根,桩径 1200 mm,桩长约 19~26 m 不等,桩端以微风化石灰岩为持力层,其天然湿度单轴抗压强度 $f_{tp}=25$ MPa,桩端嵌入微风化灰岩的长度不小于 500 mm。图 1 为 1 号楼原灌注桩基础半边平面布置,另半边布置情况与图 1 对称。

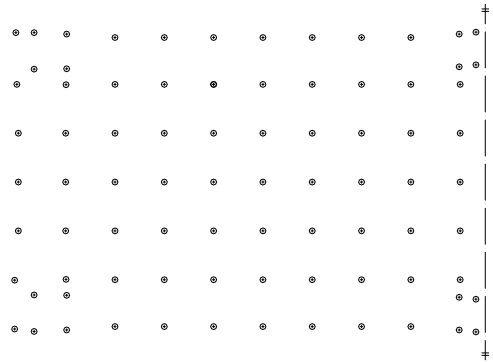


图 1 1 号楼原灌注桩基础半边平面布置图

经检查施工资料,本工程 215 根冲孔灌注桩的施工桩长均符合设计要求。灌注桩理论混凝土量为 5467.04 m³,实际混凝土用量为 8507.1 m³,充盈系数为 1.56。施工过程中超过 90% 的桩位存在溶洞反复漏浆,采取抛填黏土、片石,下钢护筒等措施成孔。

4 加固处理方案比选

4.1 注浆方案

该工程原设计的溶洞地基处理方案为注浆。通过开工前的注浆试验,发现砂浆难以注入,而水泥浆注入量又过大,且效果差、工期长、投资大。由于本工程溶洞地质强发育,溶洞注浆效果难以保证,注浆费用和工期严重不可控,故不建议采用此方案。

4.2 加桩方案

通过原冲孔灌注桩两侧增加冲孔灌注桩,由原设计的单柱单桩结构变为单柱多桩结构,可降低单桩受力,提高桩基安全度。但冲孔灌注桩在岩溶非常发育的地质上施工,同时加桩数量较多,费用大,施工周期较长,工期和投资难控制,且完工后需再次进行桩基检测。故加桩方案可作为备选的比较方案。

4.3 刚性-亚刚性桩复合地基方案

刚性-亚刚性桩复合地基是一种新型的地基型式,该复合地基采用刚性桩、亚刚性桩、桩间土和桩

顶垫层有机配置的方式,联合组成复合地基^[5]。这种复合地基除刚性桩具有传递荷载作用之外,复合地基内的刚性桩、亚刚性桩会使桩间土形成三维的应力状态,从而大大提高桩间土体的承载能力,最终形成桩、土共同工作的状态,有效地提高地基的整体承载力。如能将现有的灌注桩作为刚性桩、补充一部分长螺旋素混凝土桩作为亚刚性桩,加固处理的费用、工期、难度会比上述加桩方案大大减小。因此,本工程考虑采用刚性-亚刚性桩高强复合地基方案进行加固处理。

5 刚性-亚刚性桩复合地基加固设计及施工

刚性-亚刚性桩高强复合地基充分利用已施工的冲孔桩承载力,将施工的冲孔桩作为刚性桩,原设计单桩承载力特征值最小值为 8500 kN,现根据原冲孔桩的单桩静载试验及桩端情况,综合地质情况考虑,取冲孔桩单桩承载力特征值为 4000 kN。施工时,需截断已施工冲孔桩桩头钢筋,桩头不需嵌入基础内。长螺旋压灌桩作为亚刚性桩,直径为 500 mm,单桩竖向抗压承载力特征值为 500 kN,亚刚性桩设计桩端置于微风化灰岩岩面,桩长 16~22 m。计算复合地基天然地基承载力特征值为 560 kPa,满足上部荷载要求。1 号楼基础加固半边平面布置图如图 2 所示,另半边布置情况与图 2 对称。

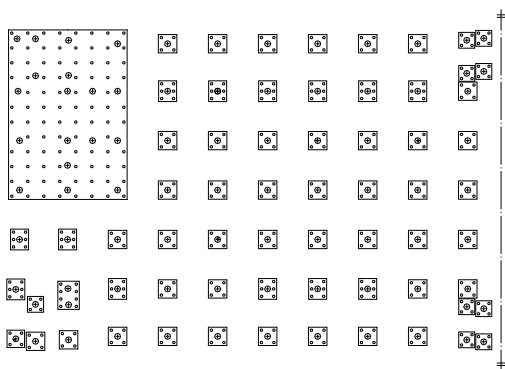


图 2 复合地基加固半边平面布置图

采用复合地基的分层总和法对复合地基沉降进行计算^[5],承台最大沉降约为 20 mm,相邻承台最大沉降差约为 0.001 倍柱距,满足规范不大于 0.005 倍柱距的要求^[3]。

考虑到冲孔桩刚度与长螺旋压灌桩刚度存在较大的差异,通过设置级配碎石垫层,以协调两者刚度差调节刚性桩、亚刚性桩与土共同作用,刚性桩、亚刚性桩桩顶大样见图 3。

刚性桩及亚刚性桩的桩端落至溶洞顶板时,可按均布力作用下的单跨板验算溶洞顶板的承载力。

由于刚性-亚刚性桩高强复合地基可将强大的桩顶集中力变为均匀的、较小的附加应力,且附加应力随着深度的加大而减小,故桩端处附加应力很小。经验算,本工程的溶洞顶板的承载力均满足桩端附加应力产生的内力要求。

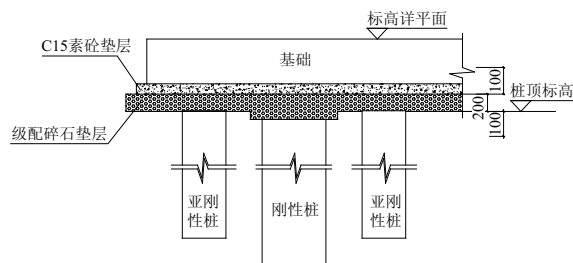


图 3 刚性桩、亚刚性桩桩顶大样

采用刚性-亚刚性桩高强复合地基不建议破坏稳定的溶洞,建议只填堵土洞及开口溶洞。通过分析超前钻,长螺旋压灌桩施工机械在亚刚性桩施工长度范围内能很好地填堵场地内的土洞,并封堵间歇开口溶洞,保持土层稳定。

亚刚性桩采用长螺旋泵送素混凝土桩,在进行素混凝土桩施工时,可同步填堵土洞、封堵间歇开口溶洞,无须其他专用设备处理。通过采用该种工法,可做到填堵土、溶洞的工程量可控及确保施工工期可控。

加固施工完成后,进行了新增亚刚性桩的检测和复合地基载荷试验检测,检测结果均满足设计要求。1 号楼复合地基承载力荷载试验的荷载-沉降曲线如图 4 所示。1 号楼主体结构施工完成后进行了沉降观测,观测点的时间-沉降曲线如图 5 所示,最大沉降量 3.3 mm,平均沉降量 0.8 mm,最大沉降差 1.9 mm,均满足规范和设计的要求。

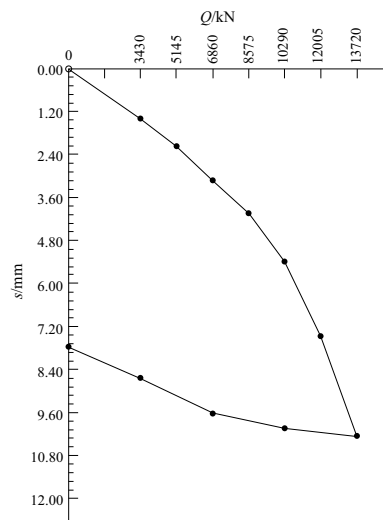


图 4 1 号楼复合地基载荷试验结果

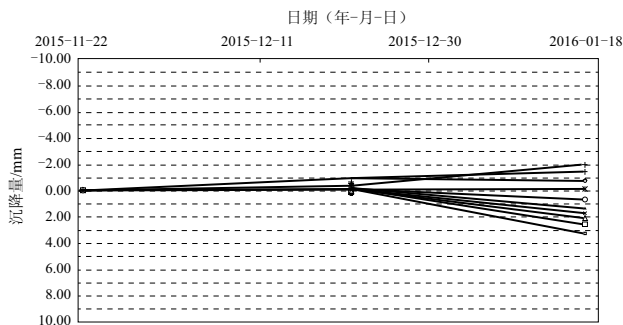


图5 1号楼主体结构施工完成后的沉降观测曲线

2号楼的加固设计及施工方法与1号楼类似,完工后检测与监测结果也满足规范要求,限于篇幅,本文不再列出。

6 小结

在岩溶场地上进行冲孔灌注桩施工,由于桩底溶洞的存在可能引起大批灌注桩的竖向承载力不满足设计要求,采用刚性-亚刚性复合地基法进行处理行之有效,即将原灌注桩作为刚性桩、新增长螺旋灌

注桩作为亚刚性桩共同承载。

参 考 文 献

[1] 吕文龙,刘 恋. 新型帷幕复合注浆法在桩端持力层加固中的应用[J]. 岩土工程技术, 2005, 29(2): 95-98.

[2] JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

[3] 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, 2011.

[4] DBJ 15—31—2003 建筑地基基础设计规范(广东省标准)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

[5] DBJ T15—79—2011 刚性-亚刚性桩三维高强复合地基技术规程(广东省标准)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

[6] 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, 2012.

收稿日期:2016-12-13

(上接第 144 页)

锁定值 400 kN,稳定在 360 kN 附近;第三道锚索拉力设计锁定值 400 kN,稳定在 340 kN 附近。

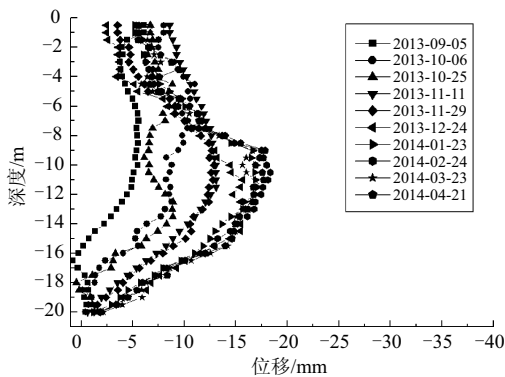


图5 护坡桩桩身水平位移分布图

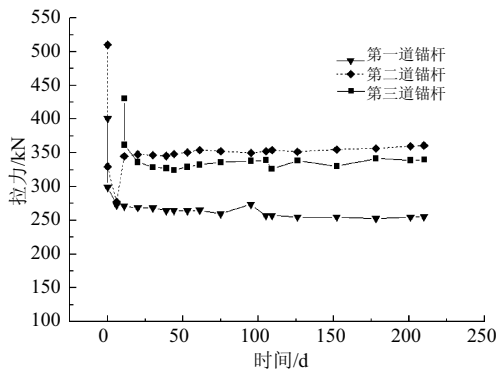


图6 锚杆拉力监测时间曲线

6 结 论

1)在正常固结的土层中,护坡桩入土深度足够长,桩身内力大小与截面刚度无关,桩身位移大小与截面刚度显著相关。在相同的约束条件下,护坡桩直径越大,截面刚度越大,桩身位移就越小,而桩身内力基本保持不变。因此支护方案优化设计,避免盲目选用大直径护坡桩,才能做到即安全可靠,又经济合理。

2)边坡整体稳定性随着护坡桩嵌固段深度的加大而增大,与护坡桩截面刚度不显著相关,即与护坡桩直径大小没有显著关系。

参 考 文 献

[1] 彭立生,孙保立,常连芳,等. 结构力学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2013.

[2] 国家行业标准. (JGJ1 20—2012)建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[3] 刘 波,韩彦辉(美国). FLAC 原理、实例与应用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.

[4] 卓家寿. 弹性力学中的有限元法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987.

收稿日期:2017-03-08