

新型帷幕复合注浆法在桩端持力层加固中的应用

吕文龙 刘 恋

(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】 提出了可用于解决砂砾填充的岩溶区域、风化花岗岩区域及砂砾区域桩基的持力层缺陷问题的新型帷幕复合注浆法。该方法解决了复合注浆施工中高压喷射流直接切割周边岩土体,进而影响桩基承载力的问题。通过对其原理、施工工艺及参数的阐述以及工程实例应用及加固后检测,验证了该方法的正确性及有效性,为类似工程提供参考。

【关键词】 新型帷幕复合注浆法;桩基加固;桩端持力层;注浆

【中图分类号】 TU 472.6

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2015.02.010

Application of Bearing Layer Reinforcement around Pile Tip by New Composite Curtain Grouting Technique

Lv Wenlong Liu Lian

(Guangdong Provincial Academy of Building Research Group Co., Ltd, Guangzhou 510500, Guangdong, China)

【Abstract】 This paper Proposed a new composite curtain grouting technique, which solved the bearing layer defection problem of pile in the gravel filling karst area, weathering granite region and gravel zone. This technique prevented high pressure jet flow of composite grouting cutting the soil around the pile directly. Thus the bearing capacity of pile foundation could be guaranteed. Basing on the principle, the construction technology, described parameters of the new composite curtain grouting and the correctness of this method was verified. The new curtain composite grouting technique provided a reference for similar projects.

【Key words】 new composite curtain grouting technique; pile reinforcement; bearing layer around pile tip; grouting

0 引言

我国地域辽阔,可溶性岩分布广泛,部分工程不得不在可溶性岩地层上进行修建,导致这一类地区的桩基在施工完成后,可能被检测出桩端持力层存在溶蚀段或溶洞情况,桩基承载力受到影响,需对其进行加固处理。

对于存在桩端持力层缺陷的桩基的加固,常规加固方法包括补桩和注浆加固。但在岩溶地区若进行补桩施工,由于受勘察布孔的局限性影响,新补桩基的桩端持力层情况未知,补桩效果不一定能得到保证。而注浆法以其原位加固、施工简单方便、对既有建筑物基础和地面损害和扰动小等特点,在岩溶地区桩基桩端持力层缺陷加固中具有较好的适用性。桩基注浆加固代表性方法有静压注浆法、高压旋喷注浆法以及复合注浆法。

若在砂砾填充的岩溶区域、风化花岗岩区域及砂砾区域发现桩基存在桩端持力层问题,采用常规的注浆加固方式进行加固,由于各种注浆加固方法的特点及其适用性,很难有效加固桩端持力层缺陷。本文创新性地提出先在桩端进行旋喷桩施工形成帷幕,后进行复合注浆施工,用于砂砾填充的岩溶区域、风化花岗岩区域及砂砾区域地区桩基桩端持力层缺陷加固,能获得较好的桩基加固效果。并将该方法称之为新型帷幕复合注浆法。

1 新型帷幕复合注浆法

1.1 旋喷桩施工形成帷幕

旋喷桩施工利用钻机钻孔至需加固的深度后,将带有喷嘴的注浆管插入地层预定的深度,用高压泵以 20~70 MPa 的压力将水泥浆液从喷射管喷出,冲击破坏土体^[1],并使之与水泥浆液混合,在胶

结硬化后形成高强、止水、压缩性小的旋喷桩,达到加固目的^[2]。旋喷桩常规多用于城市地铁^[3]、深基坑侧壁挡土或挡水^[4]、大坝加固与防水帷幕^[5]及复合地基^[6]等工程中。

在旋喷桩施工时,通过旋喷桩之间的搭接,可形成止水帷幕;该帷幕具有一定强度,且帷幕通过旋喷桩的搭接可形成矩形或环状的整体结构,能起到止水止沙的作用。

1.2 复合注浆法

将静压注浆法与高压旋喷注浆法按时序组合的方法叫复合注浆法。实际工程中是先采用于高压旋喷注浆成桩柱体,再应用静压注浆增强旋喷效果,扩散加固浆液,防止固结收缩,消除注浆盲区^[7]。在桩基加固工程中运用该方法,既能充分发挥静压注浆法浆液扩散范围大及浆液利用率高的特点,又能利用复合注浆法浆液可控性好,注浆体强度高的特点。该方法在粘土、粉土和粉细砂层及淤泥等土层中具有较好的地层适用性。被广泛用于桩基桩端持力层加固中。但复合注浆施工过程中使用高压旋喷注浆施工,采用高压喷射水及高压浆液喷射流进行清孔及注浆,在砂砾填充的岩溶区域、风化花岗岩区域及砂砾区域加固桩端持力层时,其高压喷射流在桩基周边砂性等松散地层中易于切割出较大的孔洞,影响桩基的侧摩阻力,且切割出来的孔洞会随着注浆管的上下提升进一步扩大范围,影响桩基的承载力;同时由于孔洞的产生,清孔过程耗时较长,注浆施工过程中注浆量得不到有效控制,且一定程度延长工期并增加工程成本。

1.3 新型帷幕复合注浆法

沈建华等人^[8]研究了运用旋喷桩来加固桩端持力层,但将旋喷桩形成帷幕与复合注浆结合起来用于桩端持力层加固的手段尚未被应用过。

本文提出新型帷幕复合注浆法,拟解决砂砾填充的岩溶区域、风化花岗岩区域及砂砾区域桩基持力层缺陷问题,在粘土、粉土和粉细砂层及淤泥等土层中同样具有较好的适应性。其加固过程分为以下两个主要步骤。

1)帷幕施工:首先在桩基周边进行帷幕施工,防止复合注浆施工过程中高压喷射流对桩周岩土体的切割。即根据需加固桩基的桩径按照旋喷桩搭接要求确定周边需布置旋喷桩数量。在需加固的桩基周边进行旋喷桩中心定位,按照旋喷桩中心定位在持力层位置进行旋喷桩施工,通过旋喷桩与原有桩基之间的有效搭接将二者联系起来形成一个整体,同

时通过旋喷桩之间的搭接形成帷幕。

2)复合注浆:在周边旋喷桩形成帷幕并达到设计强度要求后,再在需加固桩基中抽取注浆孔,按照施工工艺要求进行复合注浆施工。(见图1)

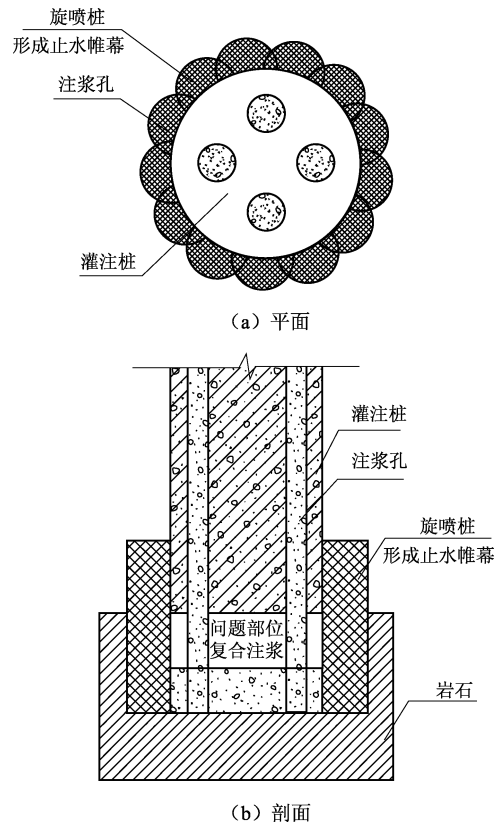


图1 新型帷幕复合注浆法加固桩端平面及剖面图

2 新型帷幕复合注浆法施工工艺

复合注浆法加固缺陷桩基的施工工艺流程(见图2)如下:

1)旋喷桩钻孔施工:对桩基的桩端持力层缺陷进行加固时,根据旋喷桩与桩基的搭接宽度,采用高压旋喷钻机在桩周设计位置进行旋喷桩孔施工,然后根据桩基缺陷位置将高压旋喷钻机钻至设计旋喷桩底位置。对桩端持力层问题,旋喷桩从桩端持力层以下3倍桩径位置开始向上施工。当以土层或强风化岩层作为旋喷桩的桩端持力层时,采用高压旋喷钻机直接钻孔,以中等风化以上岩层作为旋喷桩的桩端持力层时,需采用地质钻机钻至终孔。

2)高压旋喷桩施工:通常利用高压旋喷钻机在15 MPa以上的压力,将水泥浆或其他硬化剂通过喷射管从喷射头上的横向喷嘴向土中喷射,钻杆一边提升一边旋转。桩周被切削的土体由原来的固体变成流态的泥浆体,和高压喷射出来的水泥搅拌混合,形成旋喷桩。对于桩端持力层问题,旋喷桩长度

通常需高于桩端砂层等松散地层 2~3 m。

3)旋喷桩跳孔施工形成帷幕:桩周跳孔施工旋喷桩,通过旋喷桩间的搭接以及需加固桩基与旋喷桩的搭接,在桩周形成一圈帷幕。旋喷桩孔深不大于 10 m 时,搭接宽度不小于 150 mm;旋喷桩孔深 10~20 m 时,搭接宽度不小于 250 mm;旋喷桩孔深 20~30 m 时,搭接宽度不小于 350 mm。

4)桩身注浆钻孔施工:采用地质钻机在桩中进行钻孔取芯,桩中抽芯至缺陷位置以下 1 m 左右或桩端持力层以下 3 倍桩径左右。

5)建立孔口注浆装置:注浆钻孔施工完成后,采用预埋的方式将单管接头或混合器式注浆装置固定在注浆孔孔口,然后用水泥或水泥与堵水剂混合材料将孔口装置与钻孔之间的孔隙固定密封。

6)桩基加固部位清洗扩孔:在孔口注浆埋设固结 48 h 后,将高压旋喷钻机钻头从抽芯孔中下放至注浆孔底,在不小于 25 MPa 的压力下,在 20~40 r/min 的回转速度下以 10 cm/min 的提升速度自下而上喷射清水对缺陷位置进行清洗,清洗 2~3 遍,直至注

浆孔内返上清水。

7)采用高压旋喷注浆方式进行注浆:在缺陷桩基清孔完成后,采用高压旋喷注浆的方式对桩端持力层缺陷位置进行高压旋喷注浆。高压旋喷注浆时,注浆采用 42.5R 水泥,注浆压力不小于 30 MPa,按 20~40 r/min 的回转速度下以 10 cm/min 的提升速度自下而上直接喷浆两次,直至注浆孔内翻浆。

8)注浆孔内加入加强钢筋:高压旋喷注浆完成后,在注浆孔内下入加强钢筋。对于桩身缺陷位置吊装钢筋,钢筋长度上下超过缺陷位置不少于 1 m;对于桩端持力层缺陷位置,钢筋下入孔底并高出缺陷位置不少于 1 m。

9)采用静压注浆方式注浆:注浆孔内加入加强钢筋后,立即利用孔口注浆装置在封住孔口条件下进行静压注浆。由于采用多次清水高压旋喷扩孔,再用水泥浆旋喷置换的处理技术手段,在水泥浆的凝结过程中,可能出现收缩,导致工程桩与旋喷桩联接不密实现象,因此,应在旋喷施工结束后 3~4h 内,进行补浆。

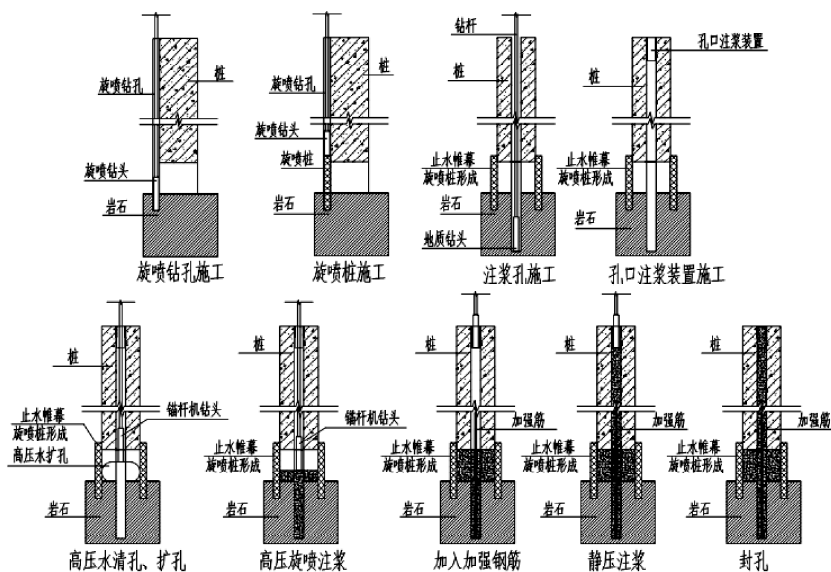


图 2 新型帷幕复合注浆法施工流程图

3 工程实例

佛山市某商住楼其基础采用冲(钻)孔灌注桩,桩端设计持力层为微风化粉砂质泥岩或微风化泥质粉砂岩,岩石天然湿度单轴抗压强度为 8 MPa,桩径为 $\phi 1000 \sim \phi 1200$ mm,桩身混凝土设计强度 C35,设计单桩竖向承载力特征值为 7000~9000 kN。该工程桩基施工完成后,对部分桩基进行抽芯检测,发现 11ZK25 桩桩身混凝土连续完整,强度满足设计要求,但在桩端存在砂质溶洞,其主要质量问题如表 1

中 11ZK25 的两个抽芯孔,即孔 1 及孔 2 桩端持力层问题所示。

经对补桩、静压注浆法、复合注浆法以及新型帷幕复合注浆法等多种桩基加固方法进行比选,本项目拟采用新型帷幕复合注浆法(见图 3)对 11ZK25 桩的桩端持力层砂质溶洞进行加固。根据 11ZK25 桩基桩径为 1200 mm、桩基周边地层情况及桩基抽芯检测报告,在桩基周边按 28° 间距布置 13 个旋喷桩,旋喷桩桩长 6 m,旋喷桩从桩端持力层岩面以上开始施工,施工至

溶洞以上 3 m,旋喷桩间搭接长度 150 mm,旋喷桩与 11ZK25 桩基搭接长度 150 mm,新型帷幕复合注浆法加固桩基施工过程中旋喷桩布置见图 1。通过旋喷桩构成一个环状帷幕,其施工步骤及工艺参数按照施工工艺要求进行。在帷幕达到设计强度要求后,按照复

合注浆施工工艺参数进行桩端持力层复合注浆施工。在 11ZK25 桩基中布置 4 个注浆孔,抽芯检测过程中已有 2 个钻孔,新增 2 个钻孔与原有抽芯孔一起作为注浆孔。要求注浆孔在桩身范围内均匀对称布置,进入桩底持力层下 3 倍桩径以上。

表 1 某商住楼桩基质量问题

桩号	桩径 /m	施工桩长 /m	设计承载力 /kN	桩身混凝土	桩底沉渣	桩端持力层
11ZK25	1200	32.66	9000	桩身混凝土连续完整,强度满足设计要求	0	孔 1:桩底下有 0.35 m 高填充沙,再有 0.1 m 高半边溶蚀岩,再有 0.72 m 高破碎岩,再 0.7 m 半边岩,桩底 2.27 m 下有 0.4 m 高填充深洞
		33.07		桩身混凝土连续完整,强度满足设计要求	0	孔 2:桩底 1.71 m 下有 0.2 m 半边溶岩,此处起钻开时返细砂无法钻进



图 3 新型帷幕复合注浆法帷幕施工图

按照新型帷幕复合注浆法施工工艺要求对 11ZK25 桩的桩底持力层砂质溶洞进行加固后,经检测单位对该桩进行高应变检测表明,桩基承载力远高于承载力设计值。由于该方法从未被使用过,具有创新性及试验性,检测单位在经新型帷幕复合注浆加固后,再次对 11ZK25 桩进行了抽芯检测,对芯样进行了抗压强度试验,抽芯芯样见图 4;同时工后上部结构施工期间进行沉降观测。从抽芯芯样图可知,加固效果明显,桩端持力层砂性溶洞得到有效填充,其混凝土钻芯法抗压强度检测报告显示,抽芯芯样在 24 d 的龄期抗压强度代表值为 18.8 MPa,桩端溶洞填充注浆体强度远高于设计强度要求的 8 MPa。加固后对主体结构进行沉降观测,历时超过 12 个月,累积沉降量为 9.47 mm,最后 100 天观测结果显示沉降速率 <0.1 mm/d,依据《建筑变形测量规范》(JGJ 8—2007)5.5.5 第 4 条,建筑物沉降已进入稳定阶段,加固后桩基满足设计及使用需要。



图 4 新型帷幕复合注浆法加固后芯样图

以上结果均显示,新型帷幕复合注浆法用于桩基桩端持力层缺陷加固中效果优异,满足工程需要。

4 结 论

1)新型帷幕复合注浆法是一种新型的桩基注浆加固方法,该方法将旋喷桩帷幕与复合注浆法两种加固方法结合起来用于桩基桩端持力层缺陷加固,解决了在砂砾填充的岩溶区域、风化花岗岩区域及砂砾区域加固施工中复合注浆法的高压喷射流切割桩周岩土体进而影响桩基承载力的问题。

2)新型帷幕复合注浆法地层适用性广,在砂砾填充的岩溶区域、风化花岗岩区域及砂砾区域具有优异的加固效果,又可用于粘土、粉土和粉细砂层及淤泥等区域桩基桩端持力层加固。

3)新型帷幕复合注浆法加固桩基桩端持力层缺陷施工简便,注浆材料无污染,经检验其加固效果优异,取得了良好的社会效益和经济效益。

参 考 文 献

- [1] 杨凤灵. 高压旋喷桩加固既有建筑物地基的方案优化研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2009.
- [2] 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京:清华大学出版社.
- [3] 翁承显. 地铁盾构隧道受高压旋喷桩挤土作用的研究

- 究[D]. 上海:同济大学,2006.
- [4] 李洪厂,张淑娟,朱效品. 高压旋喷桩在北京某深基坑止水帷幕中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008(11):56-58.
- [5] 朱美花. 高压旋喷桩在止水帷幕中的应用[J]. 太原理工大学学报,1999,30(6):640-642.
- [6] 陈国栋,梁永辉,詹金林. 高压旋喷桩复合地基在世博项目中的应用[J]. 岩土工程学报,2010,30(Z2):414-417.
- [7] 彭振斌,胡贺松,何忠明,等. 复合注浆法在桩基加固中的应用[J],岩土工程界,2004,7(3):27-29.
- [8] 沈建华,倪广乐,陆培炎,等. 旋喷桩在加固桩端持力层中的应用[C]. 第三届全国青年岩土力学与工程会议论文集,1998:256-260.

收稿日期:2014-08-14

(上接第75页)

释水系数一般采用直线图解法或水位恢复法进行计算。通常在市区进行场地抽水试验过程中,由于场地周围施工对该含水层水位有一定影响,抽水试验很难准确计算出释水系数。根据笔者多个抽水试验场地掌握的规律,释水系数宜利用水位恢复法进行计算。

3.3 给水度(μ)

给水度和释水系数一样,都是无量纲参数。给水度主要描述潜水含水层中,每单位立方体含水层在重力作用下可自由流出的最大水量。天津潜水含水层主要由人工填土、砂粘互层的粉质粘土、粉土及淤泥质土组成。潜水试验井抽出的水主要来自含水层的重力疏干。重力疏干不能瞬时完成,而是出现明显地迟后于水位下降的现象。潜水面虽然下降了,但潜水面以上的非饱和带内的水继续向下不断地补给潜水。因此,测出的给水度在抽水试验期间是以一个递减的速率逐渐增大的。

在工期较紧,且场地潜水试验段如果由粉质粘土及淤泥质土组成时,滞后效应更加明显。故抽水试验所求出的给水度往往较经验值要小。在工程勘察中提供的给水度应该在计算值的基础上,根据实际地层情况,给出相应的建议值。

4 结论

1)受尺度效应的影响,野外抽水试验和室内渗透试验所测得的渗透系数之比约为10~14。在实际工程当中,野外抽水试验更贴近于工程实际,能较好地反应在降水过程中实际地层的渗透性。

2)实测影响半径比裘布依影响半径大5.8~17.7倍。在实际的工程应用中,应根据不同的要求进行采用。在评价降水对周围环境影响中,应采用

“等价裘布依半径 R_d ”进行计算;而在进行基坑降水井布设、水资源量估算等方面宜采用裘布依影响半径进行计算。

3)对于导水系数,在含水层土质均匀、厚度较稳定地区,可取其平均值作为设计值使用,但当含水层土质不均匀且厚度变化较大时应根据场地实际情况,采用 $T=kM$ 进行分区计算。

4)在受到周边其他工地影响的情况下,释水系数的计算宜采用水位恢复法进行。

5)在软土地区,抽水试验所求出的给水度往往较经验值要小。在工程勘察中提供的给水度应该在计算值的基础上,根据实际地层情况,给出相应的建议值。

参 考 文 献

- [1] 鞠晓明,何江涛,等. 抽水试验与微水试验在确定水文地质参数中的对比分析[J]. 工程勘察,2011(1):51.
- [2] 刘玉荣. 岩土工程勘察中地下水问题的探讨[J]. 宁夏工程技术,2006(3):70.
- [3] 王强忠. 试谈渗透系数在地下水资源评价中的应用[J]. 工程勘察,1980(4):64-67.
- [4] 邹立芝,潘俊,杨昌兵,等. 含水层水力参数的尺度效应研究现状[J]. 长春地质学报,1994,24(1):66-69.
- [5] 刘大海. 等价裘布依半径及其单孔抽水试验解算方法[J]. 地下水,1987(3):129-133.
- [6] 陈雨孙,颜明志. 抽水试验原理与参数测定[M]. 北京:水利电力出版社,1985.

收稿日期:2014-10-23