

文章编号:1007-2993(2013)05-0259-04

大厚度饱和砂土液化地区振冲桩施工工艺试验研究

李继超 桑有明

(中冶成都勘察研究总院有限公司,四川成都 610023)

【摘要】 针对大厚度饱和砂土液化地基,采用振冲碎石桩方案,分析不同型号振冲器成桩效果,试验不同的成孔辅助方式和成桩填料方法,对“抱孔”、振冲器掉落和虚高等施工常见问题进行分析和预防处理,探讨施工工艺合理性,提高施工效率,降低安全风险,为类似工程提供一定参考借鉴。

【关键词】 饱和砂土;液化;振冲碎石桩;水协气协法;综合填料法

【中图分类号】 TU 473.1

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2013.05.011

Experimental Research on Construction Technology of Vibroflotation Pile in Saturated Sandy Liquefaction Area with Large-thickness

Li Jichao Sang Youming

(Chengdu Surveying Geotechnical Research Institute Co., Ltd of Metallurgy Construction in China, Chengdu 610023, Sichuan, China)

【Abstract】 The program of gravel piles with vibroflotation is used to handle the liquefaction of large-thickness saturated sand foundation. In this program, the pile effect of different types of vibrator is discussed, the different pore-forming auxiliary ways and pile filler methods are tested, frequently asked questions in construction, such as “holding hole”, vibrator fallen, virtual height etc., are analysed and the preventive measures are suggested in order to discuss on the construction process, improve construction efficiency, reduce security risks, provide some reference for the similar engineering.

【Key words】 saturated sand; liquefaction; gravel piles with vibroflotation; method of water and gas assistance; comprehensive packing method

0 引言

在工程建设中,饱和砂土液化现象作为地震灾害的一种主要表现形式,常常会引起建筑基础的不均匀沉降和建筑结构的变形破坏,造成极大的财产损失和人员伤亡,给人类带来诸多不便。经过岩土工程界专家学者多年的实践研究,建(构)筑物采用桩基或振冲加密法消除地基液化沉陷措施,其效果已被验证^[1-4]。但采用振冲法施工时,经常会遇到地层穿透力不够、“抱孔”等现象,导致振冲器工作效率降低,若强行操作,则带来较大安全风险。本文针对大厚度饱和砂土液化地区振冲桩施工,从成桩试验、辅助方式、填

料方法、常见问题处理等方面,探讨其施工工艺的合理性,以提高施工效率,降低安全风险。

1 工程地质条件

该工程位于云南省瑞丽市一级河流阶地上,地形平坦开阔,占地面积约 14 万 m²。根据岩土工程勘察成果,场区地基土主要为第四系冲洪积成因的黏性土和砂类土,层位分布复杂,层厚及深度变化较大,岩性主要由浅灰色粉砂、褐黄色—青灰色黏土、青灰色中粗砂组成,砾砂、圆砾和卵石以透镜体形式分布于中粗砂层中。主要土层分布及其物理力学指标见表 1。

表 1 主要土层物理力学性质指标

层号	埋深范围/m	岩性	天然重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	天然含水量 $\omega/\%$	塑性指数 I_p	压缩模量 E_{1-2}/MPa	不均匀系数 C_u	曲率系数 C_c	地基承载力特 征值 f_{ak}/kPa
①	0.0~1.4	粉砂					18.3	1.32	130

续表

层号	埋深范围/m	岩性	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	天然含水量 $w/\%$	塑性指数 I_p	压缩模量 E_{1-2}/MPa	不均匀系数 C_u	曲率系数 C_c	地基承载力特 征值 f_{ak}/kPa
②	0.5~4.0	黏土	17.8	36.9	18.2	5.5			120
③	2.0~18.2	中粗砂					5.7	1.75	180
③ ₁	3.0~17.0	砾砂					5.7	1.26	190
③ ₂	6.0~13.0	圆砾					38.3	4.00	330
③ ₃	15.0~16.0	卵石					82.2	6.09	340
④	15.0~40.0	黏土	19.2	24.6	20.2	11.3			220
⑤	18.2~50.0	中粗砂					2.1	1.55	280

该场区地下水类型为潜水,稳定地下水位埋深为0.5~1.4 m,地下水位年变幅为0.5~1.0 m。地下水埋藏较浅,使得中粗砂、粉砂和砾砂层处于饱和状态,根据岩土工程勘察成果,场地地表下20.0 m深度内的饱和砂土液化指数 I_{LE} 范围为6.09~52.59,其中 $I_{LE}>18$ 的单孔占整个判别标贯孔的96.8%,属于严重液化地基,不能作为主要建(构)筑物天然地基,需采用人工地基,消除饱和砂土层的液化性。

2 拟采用处理方法

目前,用于处理地基液化沉陷的措施主要有桩

基、深基础、加密法(振冲、振动加密、挤密碎石桩、强夯等)、换填法等^[1]。结合场地地层情况,本工程采用振冲桩对饱和砂土进行液化地基处理。

3 工艺试验

工艺试验设计桩径1 000 mm,桩长为20.0 m,采用等边三角形布桩,桩距为1.8 m。

3.1 不同型号振冲器的成桩试验

本试验采用的振冲器设备为西安华山振冲器制造厂生产的ZCQ75、ZCQ150和ZCQ180,其主要技术参数见表2。

表2 振冲器技术参数

型号	电机额定 功率/kW	转速 $/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	额定电流 /A	振动频率 /Hz	动力矩 $/(\text{N}\cdot\text{m})$	激振力 /kN	空振振幅 /mm	空振电流 /A	机体外径 /mm	机体长度 /mm	总质量 /kg
ZCQ75	75	1 450	150	24	69	160	≥ 9.5	≤ 55	426	$\leq 2\ 600$	1 800
ZCQ150	150	1 450	290	24	96	225	≥ 8.8	≤ 90	426	$\leq 3\ 000$	2 350
ZCQ180	180	1 450	350	24	106	250	≥ 8.5	≤ 105	426	$\leq 3\ 150$	2 600

由表2可知,3种振冲器在转速、振动频率和机体外径的技术参数相同,在电机额定功率、额定电流、动力矩、激振力、空振电流、机体长度和总质量等方面,ZCQ180>ZCQ150>ZCQ75;在空振振幅方

面,ZCQ180<ZCQ150<ZCQ75。

在相同条件下,通过对90组数据进行分析整理,剔除异常数据后,3种不同功率振冲器成桩效率见表3。

表3 振冲器成桩效率

型号	成孔时间 /min	洗孔时间 /min	填料时间 /min	成孔率 /%	成孔困难段 /m	困难段成孔时间 /min
ZCQ75	30~40	5~8	25~35	70	7.0~11.5	10~20
ZCQ150	25~35	5~8	20~30	90	7.0~11.5	8~15
ZCQ180	25~35	5~8	20~30	100	7.0~11.5	8~15

由表3可知,对比成孔时间,ZCQ75振冲器较ZCQ150振冲器和ZCQ180振冲器长约5 min,其中困难段成孔时间约占总成孔时间的40%~50%;对比填料时间,ZCQ75振冲器较ZCQ150振冲器和ZCQ180振冲器长约5 min;对比成孔率,结合场地岩土工程勘察报告成果,成孔困难

段地层主要为砾砂和圆砾层,ZCQ75振冲器对该地层的穿透效果稍差,ZCQ150振冲器的穿透效果较好,ZCQ180振冲器的穿透效果最好,其成孔率达100%。究其原因,场地地层、振冲器的动力矩和激振力对成桩效率影响较大。对粉砂、中粗砂和黏土层,成孔时穿透时间短,成孔率高,成

桩效率高;对砾砂、圆砾层,成孔时穿透时间较长,成孔率较低,成桩效率较低。同时,动力矩和激振力大的振冲器,成孔时穿透力强,成孔率高,成桩效率高。

3.2 辅助方式

为提高复杂地层深孔振冲桩的成孔效率,本次试验在振冲器上采用了水协、气协等辅助方式,其试验参数及效果详见表4。

表4 水协气协法试验参数及效果

序号	试验方法	水压 /MPa	水量 /($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	气压 /MPa	排气量 /($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	试验效果
1	ZCQ150 振冲器+水协	0.8~1.2	0.2~0.5			在7~8 m处卡孔,无法成孔
2	ZCQ150 振冲器+水协+气协	0.8~1.2	0.2~0.4	0.35~0.40	4.0	成孔顺利,在7~11 m处成孔速度较慢,成孔时间为25~40 min
3	ZCQ150 振冲器+水协+气协	0.8~1.2	0.2~0.5	0.40~0.48	12.0	成孔顺利,在7~11 m处成孔速度较慢,成孔时间为25~35 min
4	ZCQ150 振冲器+水协+气协	0.8~1.2	0.2~0.5	0.48~0.60	12.0	成孔顺利,在7~11 m处成孔速度较慢,成孔时间为20~30 min,但气压较大,存在安全隐患

由表4可知,该场地振冲桩成孔施工工艺宜采用水协+气协的辅助方式,气压和排气量适当增大可提高成孔效率,试验时水压适宜参数为0.8~1.2 MPa,水量适宜参数为0.2~0.5 m^3/min ,气压适宜参数为0.35~0.48 MPa,排气量适宜参数为4.0~12.0 m^3/min 。同时,在试验过程中观察到以振冲孔为圆心,约20 m半径范围内多处地表出现冒泡现象,该现象表明:①振冲成孔时,振冲器的水平振冲力对周围区域产生明显的预震效果^[5];②振冲成孔时,水和气返回地表的通道呈发散型,主要部分由孔底经孔内通道返回地表,少量部分通过液化点通道返回地表。这样,考虑到水和气的损失,为增大穿透力和水、气经孔内通道返回地表的上扬力,成孔时的水量、水压、气量、气压均较填料成桩时要大,但气压和排气量太大宜出现爆管或孔口砂浪溅人等事故,施工时可通过分压阀门进行控制,确保施工安全。

3.3 填料方法

振冲施工填料方法一般分为三种:间断填料法,连续填料法和综合填料法^[6-8]。间断填料法为每次填料前将振冲器提升至孔口,然后填料下降振冲器振冲密实,每次填料提升高度限制在0.8 m以下,间断填料法在振冲器每次填料后,常留在填料顶部振冲,不能充分发挥振冲器的水平振冲效果,且对深桩宜出现漏振现象,造成桩体密实度不均匀;连续填料法为先将振冲器在孔底留振,然后从孔口填料,边填边振,振冲密实后提升振冲器,每次提升高度限制在0.8 m以下,连续填料法能充分发挥振冲器的水平振冲效果,桩体密实度比较均匀,操作方便,但在

孔口附近成桩效率较低,桩顶标高抬升较大;综合填料法为间断填料法和连续填料法综合使用。

结合本工程特点,试验时采用综合填料法,即在孔底至孔口标高以下4 m段采用连续填料法,在孔口标高以下4 m至孔口段采用间断填料法,“少吃多餐”,填料设备为ZL30E装载机,采用密实电流控制振冲器的成桩质量,其密实电流见表5,振冲器单次提升高度宜为0.5 m,最大不宜超过0.8 m,留振时间宜为10~15 s。

表5 振冲器密实电流

型号	ZCQ75	ZCQ150	ZCQ180
密实电流/A	80~95	140~180	200~240

4 常见问题的处理方法

与浅孔振冲桩相比,深孔振冲桩在施工时常出现抱孔、振冲器掉落、虚高过大等情况。

4.1 抱孔

振冲桩在施工时,土层中的砂粒在高压水的冲击下成为散体,大部分悬浮在孔内振冲器以上的位置,在振冲器高频率的振动作用下被重新振密固结。该固结体(俗称“砂板”)将导杆抱住的同时亦和周围的地层紧密相连,使振冲器卡在土层中不能上下移动,此现象俗称“抱孔”。此时振冲器电机反映的情况为:当振冲器下沉速度减慢时,电机电流上升很快;振冲器停止下沉后电机电流减小,恢复到设备空振电流附近,振冲器向上不可拔出,向下又不能造孔。若增大上拔力,不但吊车大臂会有折断的危险,而且强行上拔会导致振冲器电机电流上升,有超过

额定电流,烧毁电机的危险^[9]。

抱住导杆“砂板”的厚度,主要取决于振冲器“抱孔”时的留振时间,时间越长,“砂板”形成越厚,“砂板”厚度从几十厘米至数米。其预防及处理方法主要为:水协气协法、水冲法和引孔法等。水协气协法为主动预防措施,即施工前安装水协气协装置,施工时施加水压气压,增大孔内悬浮砂粒的扬压力,使砂粒保持松散状态,不能在导杆周围固结;水冲法为被动处理方法,主要操作流程为先关掉振冲器电源,接入高压水管,自上而下沿导杆冲水,冲散已振密固结的“砂板”,然后启动振冲器,立即向上拔出振冲器;引孔法为被动处理方法,主要操作流程为先关掉“抱孔”振冲器电源,用第二台振冲器设备在“抱孔”周边重新成孔,间距以两台振冲器互不干扰为准,待固结“砂板”冲散后分别向上拔出振冲器。

4.2 振冲器掉落

振冲器深孔成孔时,宜发生振冲器掉落。综合分析,其原因主要为:成孔时导杆倾斜度过大,导杆与振冲器连接处螺栓松动,“抱孔”时强行提升,导杆和振冲器疲劳损坏等。其预防及处理方法主要为:加强前期检查及预判,控制成孔时导杆倾斜度,明挖提捞振冲器,类似沉井法或振动护筒护壁提捞振冲器等。但提捞振冲器之前,应进行经济可行性分析,确保提捞可行性及经济可行性。

4.3 虚高

振冲器在成孔及振冲密实过程中会不定时地向孔口及周边排出泥浆和悬浮砂粒,随着泥浆和悬浮砂粒的不断排除,孔口高程不断抬高,并不断向周边延展,这样开挖基础标高整体抬升,抬升高度俗称“虚高”。综合现场观测数据分析可知,场地内基础标高整体抬升高度为8~15 cm/m。

场地内虚高主要由淤泥质粉土、粉砂和黏性土,

碎石土等组成,物理力学性质指标差异很大,不能作为建(构)筑物地基基础使用,应进行开挖或置换处理。对于物理力学性质较好的碎石土可进行二次利用,用作临时场地道路或建筑基础回填,对于物理力学性质较差的淤泥质粉土、粉砂和黏性土可当作场地绿化用土使用,剩余土方可选用就近弃土场处理或另作它用。

5 结论

1)对于大厚度饱和砂土液化地基采用振冲碎石桩法进行复合地基处理是可行的。

2)在大厚度饱和砂土液化地基采用振冲碎石桩法进行处理时,振冲器宜以ZCQ150型及其以上设备为主;辅助方式宜采用水协气协法;填料方法宜采用综合填料法。该法对大厚度饱和砂土液化地基处理效果明显。

参 考 文 献

- [1] GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S].
- [2] 杨生彬,刘志伟,李 灿. 大厚度饱和砂土液化治理试验研究[J]. 岩土力学,2009,30(z2):430-433.
- [3] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S].
- [4] 张 蓓,杨晓杰,刘 洋. 大直径碎石桩软土成桩工艺研究[J]. 施工技术,2012,41(373):109-112.
- [5] 龚晓南. 地基处理手册(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008:266-270.
- [6] 牛志荣. 地基处理技术及工程应用[M]. 北京:中国建材工业出版社,2004:304-313.
- [7] 叶书麟. 地基处理工程实例应用手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997:110-123.
- [8] 左名麟,刘永超,孟庆文,等. 地基处理实用技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2005:118-140.
- [9] 齐景波,季惠彬. 气协法在超长振冲碎石桩施工中的应用[J]. 岩土工程界,2008,11(10):77-78.

收稿日期:2013-03-05

(上接第241页)

有待改进。监测报警因是一个多学科统一分析的领域,重在综合分析及设计、施工、监测的及时沟通。

参 考 文 献

- [1] 朱合华. 基坑工程动态施工反演分析与变形预报[J]. 岩土工程学报,1998,20(4):30-35.
- [2] 刘 红. 温度对混凝土支撑轴力影响的探讨[J]. 施工技术,2000,29(1):58.

- [3] 于清高,邵生俊,郑万坤. 西安地裂区的岩土工程灾害与防治措施[J]. 自然灾害学报,2010,19(3):45-51.
- [4] 赵锡宏. 大型超基坑工程实践与理论[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [5] 刘均红. 西安地铁车站深基坑变形规律现场监测与FLAC模拟研究[D]. 西安:西安科技大学,2010.

收稿日期:2013-06-20