

砂桩与 CFG 桩复合地基在软土路基中的应用对比研究

王建恒*

(中冀建勘集团有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要:以某沿海高速公路软土路基路段为研究背景,介绍了砂桩复合地基和 CFG 桩复合地基在软土地基处理中的具体应用。对地基承载力、地基沉降量、工程造价以及工程施工周期等因素进行综合对比分析,最终确定 CFG 桩复合地基更适合该公路软土路基处理。

关键词:软土路基;砂桩复合地基;CFG 桩复合地基;应用对比

中图分类号:TU447 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-5716(2025)08-0008-03

1 项目概况

某沿海公路设计全长 23.7km,公路路基有部分区域处于软土路基,软土路基属于海洋沉积的平原地貌,地形总体呈走向较为平缓,软土路基里程主要包括 K19+102~K19+649 和 K19+755~K20+560 两个区间,针对两个软土区间进行了详细的地质勘察,钻孔进尺共计 95.86m,静力触探总进尺 78.6m,圆锥动力触探进尺 1.3m,原状土试样 22 组。根据勘察结果可知,场地内地层从上到下依次为:素填土→耕植土→淤泥→粉质粘土→中砂→卵石。本次勘察主要揭露的是软土层中的淤泥地层,该层厚度为 6.0~15.0m,厚度较大,属于软弱不良地层,该淤泥层具有较高的含水量和较高的压缩性,孔隙比较大,孔隙比达到了 1.6,该地层存在侧向滑移以及地基不均匀沉降等诸多岩土工程问题,不适宜直接做天然地基,需要对其进行地基处理后方可作为路基使用。

2 复合地基方案设计与实施

2.1 砂桩复合地基设计与施工

2.1.1 砂桩复合地基设计

依据地层实际情况和承载力及沉降要求,砂桩桩位布置形式为等边三角形,桩身直径 0.5m,有效桩身长度以进入下卧层 0.5m 为准,单桩长度范围为 11~17m 不等。砂桩桩间距具体数值以挤密后要求达到的孔隙比来确定,具体公式如下:

$$s = 0.95 \xi d \sqrt{\frac{1+e^0}{e^1-e^0}}$$

式中: ξ ——考虑振动下沉密实作用下的修正系数,取

1.1;

d ——砂桩桩身直径,m;

e^0 ——处理前原状土试验确定的砂土孔隙比;

e^1 ——处理后设计应达到的孔隙比。

最终确定砂桩桩间距为 1.5m,路基和涵洞衔接处的桩基采取加密处理,桩间距 1.2m。砂桩桩顶设置砂垫层保护,砂垫层厚度设计值为 0.5m,并夹设土工格栅两层。砂桩施工工期为 160d。

2.1.2 砂桩复合地基施工

砂桩质量得到保证的前提是砂料的性能必须满足设计和规范要求。由于砂桩挤密震动后体积变小,砂桩桩顶标高下降,为了保证砂桩有效桩身长度符合设计要求,在砂桩沉管施工过程中应确保桩身高出地面 1m,沉管过程中应先将桩管内灌满水,然后再灌入砂。一边振动桩管,一边缓慢拔出桩管,拔管的速度更具现场实际情况而定,但是总体速度要控制在 1.5~3.0m/min 之间,将桩孔内的砂进行压实,保证每个桩孔的实际灌砂量不低于设计灌入量,假如某根单桩的灌砂量没有达到设计要求,需在此根桩的旁边补充一根桩。单桩设计灌砂量计算公式如下:

$$Q = k \cdot \pi r^2 \cdot h$$

式中: k ——现场试验确定的砂桩充盈系数,取 1.2;

r ——砂桩桩身直径,m;

h ——砂桩实际施工桩长,m;

Q ——单桩灌砂量, m^3 。

砂桩施工过程中需要制定连续施工的保证措施,

* 收稿日期:2023-08-07

作者简介:王建恒(1995-),男(汉族),河北保定人,助理工程师,现从事工业与民用建筑工程管理工作。

确保桩体密实程度符合设计要求。施工过程中要对现场施工原始记录进行检查,并定期对工艺参数进行校对。除此之外,还有以下几点需要注意:①砂桩施工过程中的打桩入土深度要根据设计桩长长度和孔底标高综合确定,保证桩端底部进入下卧层的长度不小于0.5m。②施工过程中部分桩孔所在位置地层全部是砂土回填,砂桩的拔管过程可以采用一次拔管法;施工过程中部分桩孔所在位置地层为软粘土,桩孔施打前应先向桩管内灌入1.2m³的砂,并在桩孔第一次施打到预定深度后进行复打,复打次数以3次为宜,目的是确保桩孔孔底的密实度符合设计要求。③施工中部分桩孔施工到8m左右时,孔内出现了淤泥,采取拔管留振法

对淤泥部位进行处理,具体处理步骤是将沉管缓慢提升至淤泥位置停留并开始振动,直至淤泥位置消除后方可继续后续施工。④地面下2m土层内应超量投砂,再通过挤压来提升表层砂的密实度。⑤砂桩施工原材料必须是渗水率较高的中粗砂且含泥量应不大于3%,直径在06mm以上的颗粒占总重量的一半以上。

2.1.3 砂桩复合地基检测

按照施工组织设计规定的程序和设计参数要求完成施工后,为了确保砂桩达到预定的挤密固结作用,需要对砂桩的施工质量进行检测,具体检测内容详见表1。通过砂桩工后检测结果可知,砂桩复合地基施工满足工程需求。

表1 砂桩复合地基工后检测内容汇总表

检查内容名称	检测参考数值	检测方法	检测频次
桩间距	1.5m;路基和涵洞衔接处 1.2m	卷尺测量	抽查总桩数 2%
桩身直径	≥0.5m	卷尺测量	抽查总桩数 2%
有效桩长	11 ~ 17m	低应变检测;施工原始记录	抽查总桩数 20%
垂直度	≤0.5	经纬仪投影法	抽查总桩数 20%
灌砂量	≥2.6m³且≤4m³	查看施工原始记录	抽查总桩数 20%
复合地基承载力	≥150kPa	承载力试验	>总桩数 1%且≥3根

2.2 CFG 桩复合地基设计与施工

2.2.1 CFG 桩复合地基设计

CFG 成桩工艺采用长螺旋钻孔泵压混凝土施工工艺,桩位布置形式为三角形,桩身直径为0.4m,桩间距为2m,桩端穿透软土层进入持力层的厚度不小于1.0m,有效桩长为16m。CFG 桩设1.2m×1.2m×0.2m的正方形桩帽,褥垫层厚度0.5m;桩体粗骨料为粒径5~31.5mm的碎石,细集料为中砂,级配等级良好,粉煤灰等级为二级,CFG 桩施工工期为186d。

2.2.2 CFG 桩复合地基施工

CFG 桩复合地基施工关键技术包括以下几点:①长螺旋钻机垂直度控制。长螺旋钻机应铺设平稳,再用设备自动系统进行微调整平,钻杆应对准桩位点并确保钻杆垂直稳固,钻头最尖处与桩位点位的偏移量应不大于10mm,垂直度应严格控制在1%以内。②压

灌混凝土过程要与钻杆的提升配合良好,提钻速度应通过桩身直径、地泵灰管长度、地泵一次输灰量以及混合料的供应速度来综合确定,通过现场试验数据和以往相类似项目的施工经验确定钻杆提升速度为2m/min。③每个灌注班组在当班期间都应该在施工现场留下一组试块,标养28d后在检测实验室做抗压强度试验^[1]。

2.2.3 CFG 桩复合地基检测

按照施工组织设计规定的程序和设计参数要求完成施工后,对CFG 桩的施工质量进行检测,具体检测内容详见表2。通过CFG 桩工后检测结果可知,CFG 桩复合地基施工满足工程需求。

3 复合地基方案对比

3.1 复合地基承载力

依据规范要求对砂桩复合地基和CFG 桩复合地基

表2 CFG 桩复合地基工后检测内容汇总表

检查项目(主控)	检测参考数值	检测方法	检测频次
桩身直径	≥0.4m	卷尺测量	抽查总桩数 5%
桩身完整性	基桩检测技术规程	低应变和取芯法	抽查总桩数 10%
桩长	≥16m	施工记录和取芯法	抽查总桩数 10%
复合地基承载力	≥180kPa	承载力试验	>总桩数 1%且≥3根

进行荷载试验,加载反力装置采用混凝土预制块压重平台反力装置,采用压力机进行荷载测量,沉降量计算使用位移传感器,测读位置安装在桩顶对称方向。砂桩复合地基和CFG桩复合地基承载能力详见表3。

表3 砂桩和CFG桩复合地基承载力试验结果(s z:砂桩;cf:cfg桩)

试验桩点	最大试验荷载(kN)	桩顶位移(mm)	残余变形(mm)	单桩极限承载力(kN)	承载力特征值(kN)	试验结果
sz1	700	24.85	16.96	700	350	合格
sz2	700	25.44	17.51	700	350	合格
sz3	700	24.87	17.19	700	350	合格
cf1	900	19.23	13.23	900	450	合格
cf2	900	18.38	12.57	900	450	合格
cf3	900	18.73	10.46	900	450	合格

3.2 复合地基沉降

复合地基沉降试验设置的3个沉降板均位于路基中心线上,相邻两个沉降板的间距为2m,最终的地基沉降量为三者的平均值,同时对三者的沉降数值进行比较,判断该复合地基是否存在不均匀沉降。复合地基沉降监测数值如表4所示。

表4 砂桩和CFG桩复合地基沉降监测

复合地基	1次填筑沉降量(mm)	2次填筑沉降量(mm)	3次填筑沉降量(mm)	允许最大沉降量(mm)	试验结果
砂桩复合地基	17.24	32.23	48.12	56	合格
CFG桩复合地基	13.03	25.32	35.52	56	合格

通过对砂桩和CFG桩复合地基的承载能力和沉降量进行工后检测确认两种方案均满足设计和规范要求,需要在承载力和沉降量基础上,综合考虑工程造价和工期进度等方面的因素来综合比较两种方案的适用性,其中工程造价为复合地基1m³的造价,包括直接费、间接费、利润以及税金,通过对两种复合地基处理方案的所有参数进行分析并总结,整理对比数据详见表5。对表5进行简单的数学计算可知,CFG桩复合地基的承载力是砂桩复合地基承载力的1.28倍,CFG桩复合地基的工后沉降量是砂桩复合地基工后沉降量的74.1%,也就是CFG桩复合地基在该软土地基处理项目中相比砂桩复合地基来说具有较为优秀的地基处理能力。

表5 砂桩和CFG桩复合地基对比分析表

对比指标内容	承载力(kN)	工后总沉降量(mm)	每方造价(元)	施工周期(d)
砂桩复合地基	700	48.30	165	160
CFG桩复合地基	900	35.80	180	186

从工程造价和施工周期的角度考虑,CFG桩复合地基的造价为砂桩复合地基的1.09倍,CFG桩复合地基的施工周期为砂桩复合地基的1.16倍。可见,CFG桩复合地基和砂桩复合地基在造价和施工周期方面并

不太大差距,这是由于CFG桩复合地基施工原材料可以根据施工项目所在地具体情况进行就地取材,而且不存在钢筋笼的制作、场地内运输以及安装的工序。此外,CFG桩桩体材料还存在较高的潜在利用率;可以充分借助天然地基的原始承载能力来提升地基处理后的承载能力,充分降低地基处理的不均匀沉降。CFG桩体材料还可以利用工业生产产生的废弃材料,不但可以节约水泥的用量,还可以达到项目所在地环境保护的需求。最终得出结论:本项目软土地基处理更加适合采用CFG桩复合地基法。

4 结语

沿海公路路基施工遇到软土地基的概率较高,如不采取切实可行的地基处理方式,公路在运行过程中会出现地基不均匀沉降、路面凹凸不平甚至开裂的风险。基于此,对软土路基进行地基处理来提升其承载能力以及控制地基沉降量是十分有必要的。软土地基的处理方式有多种,要在可行的处理方式中,综合各类关键因素选择最适合项目本身的地基处理方式。

参考文献:

[1] 罗森林,孔令宇,陈先军,等.CFG桩复合地基在建筑工程中的应用[J].佳木斯大学学报:自然科学版,2023,41(1):147-149.