

CFG 桩 + 土工织物联合冲碾压技术在公路软土地基的应用

刘法宝

(中铁二十三局集团第一工程有限公司, 山东 日照 276800)

摘要:为探究软土地基施工技术,文章结合川中多雨潮湿地区的软土地况特点,以四川某高速公路为例,对单 CFG 桩软土地基处理和 CFG 桩 + 土工织物联合冲碾压两种软土地基施工技术进行研究,并对两种技术成果进行沉降测试。结果表明:1)在 CFG 桩处理软基路段工程初期阶段,软土地基的沉降速率较快,但随着时间的推移,土体逐步固结,沉降速度开始减缓直至稳定;2)工程完成后产生的整体沉降量小于 25 cm,最大不均匀沉降量小于 4 cm;3)施工后路基整体表现较为稳定,未发生开裂变形现象,满足设计施工要求标准;4)在软土地基处理上,CFG 桩 + 土工织物联合冲碾压技术不仅在沉降量控制上优于单 CFG 桩处理法,且在均衡荷载分布、提升路基稳定性方面展现出优良的性能。

关键词:CFG 桩; 土工织物; 软土地基; 复合地基

中图分类号:U655.55

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)09-0049-06

doi:10.13402/j.gcjs.2024.09.120

Application of CFG pile and geotextile combined punching and grinding technology in highway soft ground

LIU Fabao

(China Railway 23rd Bureau Group Co., Rizhao 276800, Shandong, China)

Abstract: In order to investigate the soft ground construction technology, this article combines the characteristics of soft ground in a rainy and humid area in central Sichuan with a highway in Sichuan as an example. Two soft ground construction technologies are studied; single CFG pile soft ground treatment and CFG pile + geotextile joint punching and crushing, and a settlement test on the results of the two technologies is carried out. The results show that: 1) During the initial phase of the CFG pile treatment of the soft foundation section, the settlement rate of the soft foundation is accelerated. However, with the passage of time, the soil body gradually consolidates, and the settlement rate begins to slow down until it reaches a stable state; 2) The overall settlement produced after the completion of the project is less than 25 cm. The maximum uneven settlement is less than 4 cm; 3) The overall performance of the roadbed is more stable after construction, with no cracking or deformation. This meets the design and construction requirements standards; 4) In soft ground treatment, the CFG pile combined with geotextile and punching and rolling technology demonstrates superior performance to the CFG pile treatment method in terms of settlement control, load distribution, and roadbed stability.

Key words: CFG pile; geotextile; soft soil foundation; composite foundation

我国国土面积辽阔,南北方地理差异较大,其中南方地区雨水充沛,以孔隙比大、天然含水量大、压缩模量较小的软土地基为常见类型。软

土地基因其特殊的地质结构,在外部荷载作用下,极易引发滑动或固结变形,对工程安全构成了潜在的威胁。目前,我国在软土地基处理方面已经

收稿日期:2024-02-21

作者简介:刘法宝(1977—),男,工程师,从事道路桥梁工程方面的工作。

形成了几种成熟的技术路径,包括表层处理法、排水固结法、换填土层法、复合地基法以及土桩加固法等。在建筑工程学界,软土地基的处理一直是一个研究的热点。徐晓莲等^[1]对珠江三角洲等沿海地区的软弱土地基进行工程特征介绍及危害分析,并重点介绍了常用处理方法及适用范围;李泽光等^[2]以山西省某房建工程为例,对强夯加固处理技术进行了深入研究,以期有效克服杂填土下卧软弱土地基,提升建筑工程质量;李伟等^[3]采集并分析了基地沉降监测数据,运用Asaoka方法,预测了地基的最终沉降量、固结程度和施工后沉降。工程实践证明,采用水泥搅拌桩与塑料排水板相结合的方式地进行地基处理,不仅显著提高了地基的承载能力,还有效增加了压缩模量。本文结合四川某高速公路半刚性的CFG桩施工工艺,对川中多雨地区软弱地基的处理方式进行分析,以期同类工程施工提供借鉴。

1 工程概况

四川某公路项目位于川中盆地丘陵低山区,属亚热带季风性气候,北部、西部及南部分别为青藏高原及横断山脉,梅雨时节雨水多在此汇聚,因此该地区雨季较长、水量较为丰富。该地区软土地基极为普遍,工程填方路基按照8 m为界设计两种填方类型,道路沿线地表一般覆盖为第四系残坡积、冲洪积层,地表多为耕地,且大部分为水稻田地。软土分布于沿线稻田和鱼塘中,岩性为淤泥质黏土,淤泥质黏土呈软塑-流塑状,具高压缩性,天然含水量及液限高,孔隙比大,强度低,属软弱土层,其工程性质差。当道路以

填方形式尤其以高填方形式通过时,软弱层土层极不利于路基稳定,需进行工程处理。

结合现场软弱土取芯芯样(图1)及相关试验进行研讨,发现该地区软土主要包含4个土层结构,由上而下依次为亚黏土、淤泥、亚黏土以及粗砂,主要在上面3个土层内进行工程施工。土层的力学性能如表1所示。



图1 软土地基取芯芯样

项目原设计方案为采用抛石挤淤以及开挖换填的换填土层法,施工周期过长且处理后的地基稳定系数不高,沉降度较大,极大影响地基的强度。因此,为确保填方路堤的安全,对地下水埋深、地基土承载力、路基填料及地面横坡等进行路基稳定性验算和综合分析计算。表2为CFG桩与抛石挤淤换填土层法方案比较情况。根据现场实际情况,选择半刚性桩-CFG桩对软弱地基进行处理。

2 复合地基分类及技术特点

2.1 复合地基分类

复合地基按照增强体的布置方式主要分为横向与纵向两类。纵向增强体复合地基,通常指包含多种类型桩体的组合地基,根据桩体的材质,可分为无黏结力的散料桩和具有黏结力的黏结材

表1 土层力学性能分析

土层名称	厚度/m	含水率/%	液限/%	塑限/%	孔隙比	重度/(kN·m ⁻³)	容许承载力/kPa
亚黏土	0.58	28.4	31.6	21.7	0.72	18.6	147.6
淤泥	10.30	62.7	50.2	33.9	2.11	17.9	50.2
亚黏土及粗砂	6.20	30.6	32.1	23.6	0.76	17.6	150.0

表2 CFG桩与抛石挤淤换填土层法方案比较

方案类型	设计方案			稳定系数	沉降试验净值/cm
	桩间距/m	桩径/m	桩长/m		
CFG桩柱法	1.5	0.4	5	1.92	15.2
抛石挤淤以及开挖换填的换填土层法	1.5	0.4	5	15.80	20.3

料桩。散料桩因材质不具黏结力,需依赖土壤的侧向约束力方能成型;相反,黏结材料桩则因内聚力而独立成桩,再根据桩体刚性不同,进一步划分为柔性桩复合地基、半刚性桩复合地基等,具体如图 2 所示。

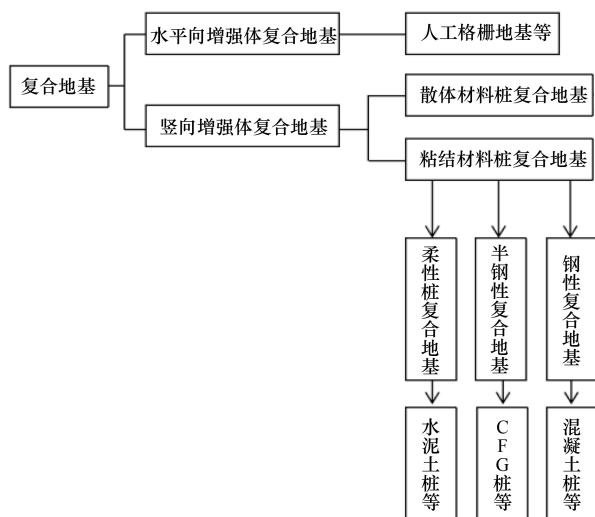


图 2 复合地基分类

2.2 CFG 桩复合地基技术特点

(1) 承载力提升幅度大。与散料桩复合地基相比,CFG 桩在整个桩长区间内能更好地发挥桩侧摩阻力,并且由于其良好的内聚力,能有效传递荷载,当桩端打入持力层时可较好的发挥桩端阻力。这种特性使 CFG 桩成为地基处理中的优选方案,具有显著的工程应用价值和发展潜力。

(2) 可调节性强。CFG 桩的桩长根据地基承载力及荷载的不同,其设计也不同。不同于传统桩体必须深入持力层中,当 CFG 桩未穿透到持力层时,CFG 桩复合地基起到垫层的作用,应力向四周扩散,分布趋于均匀稳定。

(3) 承载效能好。相较于桩基础,CFG 桩复合地基改变了过分依赖桩体本身承担荷载的传统设计思路,充分发挥桩间土的作用(承担部分竖向荷载、大部分的水平荷载),对桩体本身的强度指标要求不高。

(4) 效益高、工期短。CFG 桩具有桩体无需配筋、施工无泥浆污染、无振动、低噪声的特点,且施工速度快、施工工期短、质量易保障。

3 CFG 桩 + 土工织物联合冲碾压技术

为确保工程施工效果,在部分路段进行 CFG

桩施工工序后加入土工织物,以分析在软土地基处理中单 CFG 桩施工技术与 CFG 桩 + 土工织物联合冲碾压技术两者之间的差异。

3.1 CFG 桩处理工艺

3.1.1 施工工艺

在软土地基加固工程中,为提高路基稳定性,依托振动沉管技术构筑 CFG 桩体,并通过精细调控桩体尺寸与间距(间距为 1.5 m、长度为 5 m、直径为 40 cm),实现地基承载力的优化。在桩顶铺设 30 cm 厚的碎石褥垫层,施工工艺流程如图 3 所示,CFG 桩基础结构如图 4 所示。其中: L 为桩长, m; H 为路基高度, cm; B 为路基宽度, m; 1: m 为坡度比。

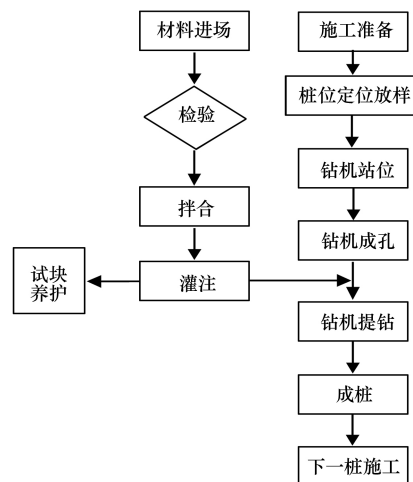


图 3 CFG 桩施工工艺流程

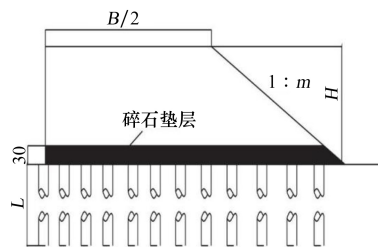


图 4 CFG 桩基结构

3.1.2 材料设备选择

原材料主要由砂、水泥、碎石与粉煤灰组成。其中,水泥选取 325# 普通硅酸盐水泥,以及碎石与中等粒径石屑作粗骨料,细骨料则选用品质优良的Ⅱ级以上粉煤灰。按照 233: 818: 1 189: 71: 188 配比将水泥、砂、碎石、粉煤灰与水进行精确搭配。

施工过程中,根据项目进度的要求,每日需

完成 70 根 5 m 深的 CFG 桩沉管作业。为此,调配 DZ80 与 DZ90 两款型号的振动沉管机共 14 台,保障桩径小于 80 cm 的 CFG 桩体施工的顺利进行。

3.1.3 CFG 桩施工工序

(1) 在 CFG 桩体施工前,规划临时排水系统,以排出地表积水。在松软土壤区选一块区域铺设一层 50 cm 厚的宕渣,经过轻微的碾实和平整作业后,作为物料临时存放场地。桩基入场后,根据设计要求,将桩体、桩管沉入预设土层深度,并记录每次下沉的深度,直至下沉预设位置,同时做好沉管机架高度、长度的设置,待桩基安装完毕后,调整沉管位置,保证桩体平稳,垂直偏差不得超过 1%,完工后停机。

(2) 桩基机停止后,将混合料按照配比倒入桩管中并与进料口保持齐平。混合料加水后经搅拌机混合搅拌,时间不少于 3 min。在填充过程中,坍落度范围保持在 3~5 cm,同时成桩后的浮浆厚度范围控制在 15~18 cm 为最佳。

(3) 启动振动马达振动 5~10 s 后进行拔管,拔管速度应保持在 1.2~1.5 m/min。特别是在遭遇淤泥或淤泥质土层时,应适当调整施工速度。成桩后,需使用湿黏土颗粒封顶,并根据等边三角形布局原则,展开下一根桩的施工。

(4) 成桩完成后,在 CFG 桩上铺设厚度为 30 cm、直径为 6~18 mm 的碎石粒作为垫层。桩基施工完成 28 d 后,进行混合料的质量检测。从完成的桩体中随机选取 15 块桩进行无侧限抗压强度检测,连续测压 25 d,以确保每块混合料桩的硬度大于 10 kPa,同时对桩体进行强度检测,确保每块桩硬度不低于 C10 混凝土。

(5) 在 CFG 桩施工中,受“三杆”作业影响,部分 CFG 桩无法使用振动沉管机施工,故选择采用取土器施工法^[4]。施工前先使用白灰进行放线,要求桩的中心点与设计要求的偏差不得超过 2 cm。用取土器插挖取土成孔,孔深及垂直偏差与桩机要求一致,不得超出 1%。成孔后,采用震灌的方式将混合料灌注孔中,每次灌注前对导管进行预先湿润,防止堵塞;灌注完成后,将桩头埋入土中保温,以防止冻裂。

(6) CFG 桩体施工结束,经过 7 d 的养护,

待桩体混凝土达到预期强度后,进行基槽开挖。桩顶标高不足 1.2 m 时,可选用人工开挖方式;当基槽开挖深度较大时,采用人工和机械联合开挖法^[5]。

3.2 土工织物结合冲击碾压法施工

依据《土工合成材料塑料土工格栅》(GB/T 17689—2008),土工格栅选用耐腐蚀性材料。在铺设时,格栅横向展开平铺于路基层之上,两侧以木桩牢固锚定,以确保格栅叠接部分不少于 20 cm,并采用尼龙绳以“之”字形交叉系绑。在靠近边坡的路段,格栅需做成高度为 50 cm 的弯曲形态,并向内延展 200 cm。在边部土格栅铺设时,应与设计图纸相结合,留出空余空间作为边坡防护工程。栅铺设完毕后,铺设碎石垫层,并通过滚填法整平压实,随后覆盖土工布,具体施工工艺如图 5 所示。

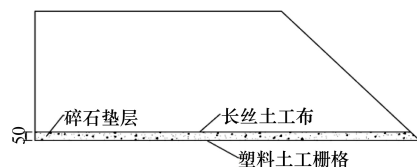


图 5 土工织物结合冲击碾压处置断面

土工织物的覆盖工作完成后,初始 1 m 高范围内采用普通压路机进行施工,1 m 高以上高填方路基利用 YT25 型冲击式压路机展开压实作业。压路机自路基边缘起步,一直行进至对侧终点,再沿中央线返回起点,然后向路基边缘方向作重复碾压。每次碾压轨迹相互重叠三分之一,以确保中间区域受到全面冲击,直至完成一遍路基碾压。反复进行 10 次冲击压实后,对压实度及高程进行检测,具体施工流程如图 6 所示。

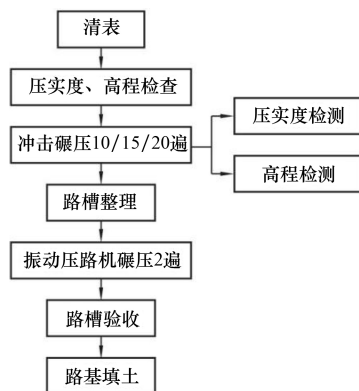


图 6 土工织物结合冲击碾压施工流程

4 沉降量观测

遵循《公路软基处理技术规范》(JTG/T D31—02—2013)要求,对基底沉降值做出明确界定:工程竣工后,沉降范围应控制在 0~30 cm,桥台与路堤接合部位的沉降则应小于 10 cm。项目软土地基沉降监测方案如下。

4.1 地表垂直位移监测

地表垂直位移的监测采用沉降板法,而软土层内部的垂直形变量则通过分层沉降仪进行精确测量。沉降板由直径介于 20~30 mm 的钢管和尺寸为 600 mm×600 mm×9 mm 的沉降钢板构成,其长度随着填土高度的增加而相应增长。在观测过程中,确保每一段接管的顶面记录两个相邻观测期的标高。首先,对第一段接管理设实施精确测量,并记录管顶标高,作为基准观测值。随后,随着首层填土作业的圆满完成,依托已确定的管顶标高,进行第二阶段的位移监测,以此类推,逐层提升,以跟踪每一期的沉降量。

4.2 土体的侧向位移监测

土体的侧向位移通过测斜仪进行监测。考虑到地基的具体情况,在路堤坡脚起始处,沿垂直于路中心的方向,每隔 2~3 m 布置 5 个位移桩。此外,在位移桩的延长线方向设置两个固定桩 A 和 B,并确保 A、B 之间的距离控制在 20~30 m。在每次监测中,将经纬仪精准定位于 A 点,后视 B 点,确保 5 个监测桩精确排列一线。通过钢尺,对固定点至 A 点的距离进行测量,从而得出纵向位移数据;与此同时,使用水准仪对位移桩的垂直位移进行测量,以初次观测与第 i 次观测间标高差,作为垂直位移值。

4.3 CFG 桩路基沉降量监测研究

对于 CFG 桩路基沉降量研究,以 K58+100 路段的基础断面中心线为例,观察软土路基施工后路基沉降变化,如图 7 所示。由图 7 可知:施工开始后,受到外界器械干扰,软土路基在短时间内开始快速下沉,在 20~30 d 沉降量达到 10~12 cm;随着时间的推进,在施工 90 d 后,由于软土层开始逐渐固结,沉降量也随之变缓,此时沉降量约为 17 cm;310 d 后,路基沉降量整体趋于

稳定,约为 20 cm。通过实际检测可以发现,工程整体沉降量小于 25 cm,且最大不均匀沉降量小于 4 cm,沉降期主要集中在前 90 d,随着时间的推移,增加沉降量不足 5 cm。施工后,路基整体表现较为稳定,未发生开裂变形现象,满足设计施工要求标准。

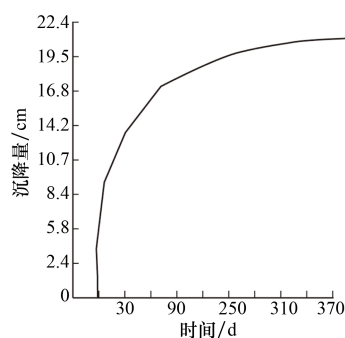


图 7 不同时间段软土路基沉降变化

4.4 CFG 基桩与 CFG 桩 + 土工织物联合冲碾压技术沉降量监测对比研究

以 K58+200 中心路段为例,观察 CFG 基桩与 CFG 桩 + 土工织物联合冲碾压两种方法路基沉降量,结果如图 8 所示。由图 8 可知:土工织物施工工序的加入,使地基沉降量略小于单 CFG 桩,地基的受力状态更稳固,且能更均匀地将承受的力传递到路基上,减少了横断面不均匀沉降^[6]。

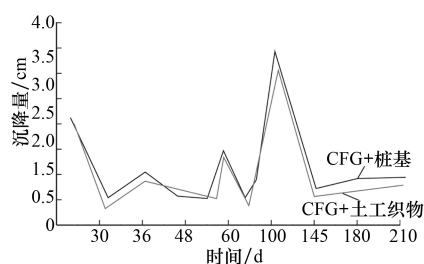


图 8 K58+200 路段沉降处理效果对比

5 结 语

本文对单 CFG 桩软土地基处理和 CFG 桩 + 土工织物联合冲碾压两种软土地基施工技术进行研究,并对两种技术成果进行沉降测试。在 CFG 桩处理软基路段工程初期阶段,软土地基的沉降速率较快,但随着时间的推移,土体逐步固结,沉降速度开始减缓,直至稳定;工程完成后,整体沉降量小于 25 cm,最大不均匀沉降量小于 4 cm;施工后,路基整体表现较为稳定,未发生开裂变形现象,满足设计施工要求标准。在软土地基处

理上,与单 CFG 桩技术相比,CFG 桩+土工织物结合冲碾压技术沉降量偏差相对较少,不仅在沉降量控制上优于单 CFG 桩处理法,且在均衡荷载分布、提升路基稳定性方面展现出优良的性能。

综上所述,公路工程中软土地基的处理应根据实际情况合理选择处理方式。在川中多雨地区,采用 CFG 桩复合地基和土工织物施工工艺相结合的方式,不仅提高了地基承载力,而且大大地加快了施工进度,保证了节点工程的顺利完成。

参考文献:

[1] 徐晓莲. 软弱土地基处理方法简析[J]. 鄂州大学学报

报,2012,19(5):36-39.

[2] 李泽光. 杂填土下卧软弱土地基处理中的强夯加固效果分析[J]. 四川建材,2023,49(3):90-91.

[3] 李伟,朱兵见,卢玉华. 滨海软弱土地基处理沉降监测预测与数值模拟[J]. 建筑施工,2022,44(4):4.

[4] 马卓. 公路工程中软土地基处理技术应用的研究[D]. 西安:长安大学,2013.

[5] 李茂英,曾庆军,莫海鸿,等. 高速公路拓宽工程沉降控制复合地基优化设计[J]. 岩土力学,2008(2):535-540.

[6] 魏星,黄茂松. 交通荷载作用下公路软土地基长期沉降的计算[J]. 岩土力学,2009,30(11):3342-3346.

(上接第 34 页)

[3] 陈俊雯,张益,白尊铭,等. 某深基坑对临近城市快速轨道交通影响数值模拟分析[J]. 广东建材,2024,40(2):86-90.

[4] 王立新,王强,李炳龙,等. 基坑卸载对临近地铁车站影响的数值模拟研究[J]. 西安理工大学学报,2022,38(4):577-587;602.

[5] 祁小龙. 新建地铁车站施工对既有地铁车站的影响研究[J]. 现代城市轨道交通,2023(10):80-85.

[6] 程险峰,吕方泉,姜艳红. 盾构隧道近距离下穿既有车站变形控制技术[J]. 市政技术,2023,41(4):117-123.

[7] 廖坤阳,林灿阳. 基于数值模拟及现场监测的新建隧道开挖对既有隧道影响分析[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版),2022,31(1):7-16.

[8] 党涛,雷伟,任利军,等. 西咸机场扩建工程深大基坑开挖对邻近地铁车站影响分析[J]. 市政技术,2023,41(8):235-244;252.