

孔内深层强夯法在城市道路路基杂填土处理中的应用研究

孙宏亮, 潘鑫, 刘艳妮, 王小东, 李振辉

(西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要: 在城市道路设计中,若遇到路基范围内存在较深杂填土的情况,需查明其性质、成因、类型、规模,然后综合考虑地质情况、道路等级、周边环境和工程经济等因素来制定处理方案。对西安市某次干路约800 m长路基较深杂填土的几种处理方式进行分析比较,在这些处理方式中,孔内深层强夯法(DDC)具有显著优势,它适用于处理深层、不均匀土壤,对周边环境的影响较小,且成本相对较低。因此,最终采用DDC法对杂填土路基进行处理,并对承载力等关键指标检测。检测结果表明,经DDC法处理的路基有效提高了路基承载力,同时路床顶面的压实度和弯沉值也满足了道路设计的要求。

关键词: 路基;杂填土;孔内深层强夯法;路基承载力;压实度;弯沉值

中图分类号: U416.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0187-04

0 引言

在路基设计时,应对道路路基进行综合地质勘察,若有特殊地质,例如路基内存在较深杂填土,需查明其性质、成因、类型、规模等。杂填土的物质组成主要为素填土、房渣土、工业废渣土及生活垃圾土等,杂填土的工程性质表现为强度低、压缩性高、均匀性差等。未处理的杂填土对于路基的稳定性有很大的影响,可能发生因承载力不足或遇水导致的塌陷或不均匀沉降等病害,严重时影响道路安全运行,因此对于路基杂填土需进行科学、合理的处理,以保证道路的整体稳定和安全使用^[1]。

1 工程概况

1.1 设计概况

本次设计道路为西安市内一条东西向的次干路,道路全长约2.4 km,设计速度40 km/h,设计宽28 m,道路横断面形式为:4 m宽人行道+20 m车行道(机非共板)+4 m宽人行道。路面采用沥青混凝土,厚度为69 cm。

1.2 地质情况

K0+000~K0+800 里程段:

收稿日期: 2023-08-24

作者简介: 孙宏亮(1994—),男,硕士,工程师,从事城市道路、交通设计工作。

(1)杂填土(Q4^{ml}):杂色,土质不均匀,以粘性土为主,含植物根系、混凝土块、砖块、砂卵石等。层厚8.5~12.30 m,相应层底标高360.99~365.76 m。

(2)中砂(Q4al+pl):黄褐色,矿物成分以石英、长石为主。本层未穿透,最大揭露厚度5 m。

勘察期间,在各钻孔实测场地地下水稳定水位埋深为7.6~14 m,地下水位在砂土层与杂填土层交界处。

结合纵断设计,K0+000~K0+800段在路床顶面以下杂填土深7~12 m。经调查,此处杂填土为约2013年挖沙后填埋,距施工时已有7 a。

2 处理措施分析与设计

2.1 常用措施分析

对于路基范围内的杂填土,常用有以下几种处理方式。

2.1.1 换填法

换填法就是将路基杂填土完全挖除后换填素土或石灰土,然后分层压实,达到设计的压实度。此种处理方式适用于杂填土范围较小,层厚较薄,挖除土方量小且具有开挖条件的项目。

2.1.2 强夯

强夯法是反复将夯锤提到一定高处后自由落体,使地基受到冲击而达到夯实的作用。对于不同的夯击

能,加固的有效深度是不一样的,对于碎石土、砂土等粗颗粒土,单击夯击能为 8 000 kN·m 时,有效加固深度为 10.0~10.5 m,对于黏性土等细颗粒土,单击夯击能为 8 000 kN·m 时,有效加固深度为 9.0~9.5 m。强夯适用于比较空旷的区域,周围若存在不允许有震动影响的建筑物或设备时,不得采用强夯法。

2.1.3 分层碾压

分层碾压是把杂填土进行翻挖,然后将生活垃圾与粒径大于 10 cm 的建筑垃圾挖除,最后添加一定比例的水泥或石灰进行分层回填压实。此种方法适用于杂填土厚度较小的路段,若杂填土较厚,处理效果及经济性都大幅度下降^[2]。

2.1.4 石灰桩法

石灰桩法是利用旋挖或冲击等方式在地基中成孔,然后在孔中填入灰土,分层压实成桩。石灰桩法适用于处理素填土、杂填土、淤泥及淤泥质土等,处理深度从几米至十几米。石灰桩的处理效果与桩的密实度、生石灰的有效钙含量及周围土体强度等有关^[3]。

2.1.5 孔内深层强夯法(DDC)

孔内深层强夯法(又称 DDC 工法)是由我国司炳文先生首次提出,此法和石灰土桩法相似,先进行成孔,然后填料压实。适用于杂填土、砂土、粉土、粘性土、湿陷性黄土等的处理。孔内深层强夯法一般采用旋挖、强夯成孔,成桩直径、桩中心间距和夯后桩径受成孔方式的影响而不同。桩型有素土桩、碴土桩、碎石桩、灰土桩等,其中碴土桩的填料为土、碎砖瓦、砂、石料、混凝土块、无害的工业废料及其混合物。孔内深层强夯法的加固原理为通过孔内强夯,降低填料的孔隙,使填料变的更为密实,将较为松散的填料变成了具有一定强度和承载力的桩体,同时在强夯时对桩间土进行挤密,提高了整体的强度和承载力^[4]。

2.1.6 对比分析

结合工程实际进行分析,换填法和分层碾压法成本过高,且较深杂填土开挖风险较大;道路北侧为学校宿舍,强夯对学校现状建筑影响较大,且有噪音。遂本次设计考虑采用石灰桩法或孔内深层强夯法进行杂填土处理。

根据工程经验,石灰桩的桩孔直径一般为 0.3~0.6 m,桩距约为 2 倍的桩径^[3],布桩采用等边三角形布置,孔内填料为灰土;孔内深层强夯法桩径、

桩距较灰土桩大,孔内填料可以采用现场碴土。若控制好施工质量,两者方式处理后桩顶的路基承载力均可达到 200 kPa。经过成本计算,此段孔内深层强夯法较灰土桩法节省投资约 700 万元。综合考虑,本次工程采用孔内深层强夯法进行路基处理。

2.3 工程设计

本次设计采用下层为 DDC 桩,上层为 0.4 m 灰土褥垫层相结合的方式进行处理,DDC 桩布置见图 1、图 2,处理方案如下。

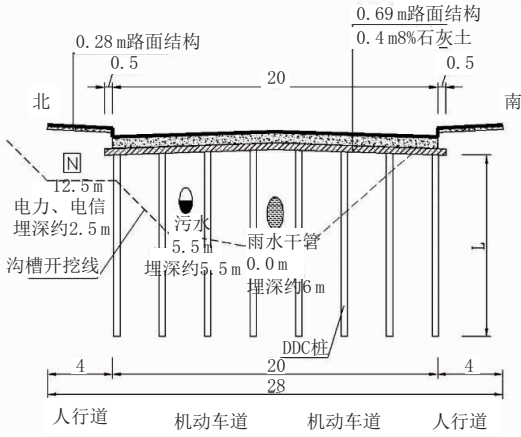


图 1 DDC 桩布置剖面图(单位:m)

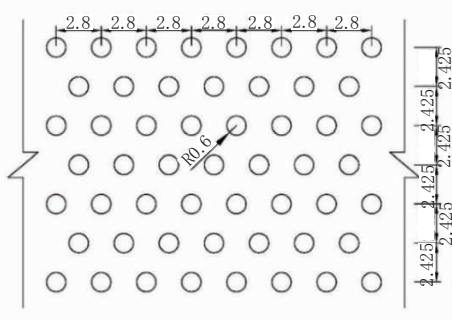


图 2 DDC 桩布置平面图(单位:m)

(1)对场地进行清表整平后,以路面设计高程以下 1.09 m 处高程控制,对现状场地进行填挖整平。

(2)在车行道外放 0.5 m 范围内进行布桩,布桩采用等边三角形布置,采用旋挖钻机成直径 1.2 m 孔,填料粒径为不大于 0.4 m 的现场碴土,碴土有机物含量不应超过 10%,用重锤分层夯实,孔夯扩至 1.8 m,桩间距 2.8 m,桩长为深入中砂层 0.5 m,施工前应准确探测杂填土层厚度,保证桩端穿透杂填土层。

本项目为市政道路,道路下有管线敷设,雨水管位于道路中心线下,埋深约 6 m,污水管位于道路中心线以北 5.5 m,埋深约 5.5 m,考虑若先进行管线开槽,然后 DDC 桩施工,则场地不平整不利于桩基施工。遂本次设计先进行 DDC 桩施工,然后进行沟槽开挖,由于桩基施工后桩间土更为挤密,沟槽开挖时

放坡坡度可适当变陡,减少沟槽开挖量,降低投资。

施工前应进行成桩工艺和成桩挤密效果试验,合理确定施工参数,以保证成桩质量。管线施工完对沟槽进行填埋时需满足路基设计要求。施工过程中注意对周边构筑物的保护。

在施工过程中,遇到由于土质较虚导致成孔塌陷,设计建议在孔塌陷后进行孔内夯击,夯后再进行旋挖成孔,重复以上操作直至成孔至中砂层。

按照《城市道路路基设计规范》(CJJ 194—2013),城市次干路的路床顶面压实度要求为不低于94%^[5]。为确保道路质量,本次设计适度提高路床顶面压实度至95%。

3 工程检测

3.1 桩顶检测

本次工程施工方法及工艺按照施工单位制定的施工技术方案及《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)中的有关规定与要求执行。地基处理采用深层孔内强夯法,旋挖钻孔工艺。建设单位及监理公司对施工过程实施全面监理。

本次采用静荷载实验对桩进行检测,由于DDC设计桩成孔直径为1.2 m,重锤夯至1.8 m,桩间距为2.8 m,本次确定承压板直径为2.94 m。荷载试验最大加载量400 kPa,为设计要求承载力的2倍,加载时分为10级,每级荷载为40 kPa,稳定后再加下一级。

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012),采用静荷载试验检验垫层承载力,每个单体建筑的检验数量不应少于3个点^[6]。本次共进行了3处静载试验,总体结果见表1。

表1 地基承载力试验结果汇总表

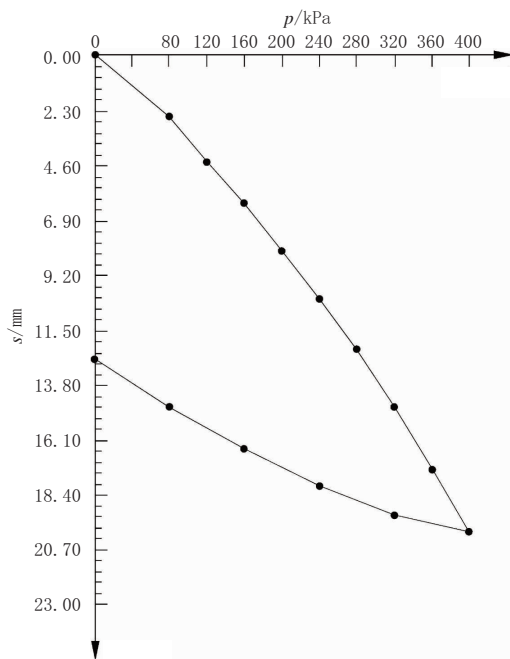
试验 点号	压板 直径/m	加压 级别/kPa	终止 压力/kPa	沉降量/mm	
				200 kPa	400 kPa
F1	2.940	40	400	8.17	19.94
F2	2.940	40	400	8.52	21.85
F3	2.940	40	400	8.32	20.66

F1点详测数据见表2,据此绘制 $p-s$ 及 $s-lgt$ 曲线,见图3。

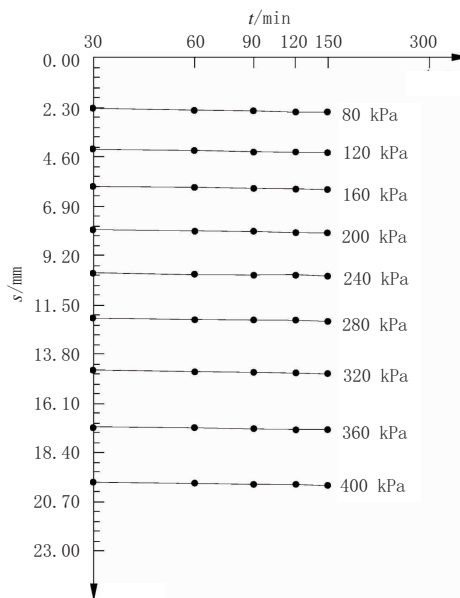
从表1可以看出,承压板总沉降量介于19.94~21.85 mm之间,均未超过终止试验要求的沉降量值($s_0/b=0.06, s_0=176.4$ mm)或者不小于150 mm。如图3所示, $p-s$ 曲线呈缓变型, $s-lgt$ 曲线各级沉降量变化均匀,无明显的陡降,承载力均未达到极限状态^[7]。

表2 F1地基承载力试验结果汇总表

荷载/kPa	本级沉降/mm	累计沉降/mm
80	2.56	2.56
120	1.9	4.46
160	1.69	6.15
200	2.02	8.17
240	2.00	10.17
280	2.09	12.26
320	2.45	14.71
360	2.63	17.34
400	2.6	19.94



(a) $P-s$ 曲线



(b) $s-lgt$ 曲线

图3 荷载试验曲线图

按《建筑地基检测技术规范》(JGJ 340—2015)的相对变形法确定各试验点地基承载力特征值,取 $s_0/b=0.008$, (压板直径大于2 m,按2 m计算),即 $s=16$ mm对应的压力,但其值不应大于最大试验荷载的一半。由于各试验点承载力检测值均为200 kPa,其地基承载力特征值可取值200 kPa。满足设计要求。

3.2 路床顶面检测

道路路床顶面设置0.4 m 8%石灰土,为DDC桩的褥垫层,根据规范,设计的主要控制指标为路床顶面压实度和弯沉值。

(1)压实度

根据规范进行道路路床顶面压实度检测,结果详见表3。

表3 路床顶面压实度试验统计表

桩号	设计压实度 / %	压实干密度 / (g·cm ⁻³)	最大干密度 / (g·cm ⁻³)	压实度 / %
K0+030		1.68		96
K0+090		1.67		95
K0+140		1.68		96
K0+200		1.69		96
K0+250		1.69		96
K0+300		1.68		96
K0+360		1.7		97
K0+400	≥95	1.68	1.754	96
K0+440		1.69		96
K0+450		1.72		98
K0+510		1.69		96
K0+570		1.72		98
K0+630		1.7		97
K0+690		1.71		97
K0+730		1.72		98

从压实度试验结果来看,路床顶面压实度均满足设计要求。

(2)弯沉值

根据规范进行道路路床顶面弯沉值检测,结果见表4。

表4 路床顶面弯沉值统计表

测点总数	设计弯沉值 / 0.01 mm	平均值 / 0.01 mm	标准差 / 0.01 mm	代表弯沉值 / 0.01 mm
174	248.4	32.6	17.69	61.7

从弯沉结果可以看出,路床顶面弯沉满足设计要求。

4 结 语

本研究通过对几种路基处理方式进行分析比较,最终选定了适用于处理深层、不均匀土壤,对周边环境影响较小,且成本相对较低的DDC法,对西安市某段具有较深杂填土的路基进行处理,研究结果显示:

(1)在DDC法中,采用了碴土桩填料,这有效地利用了现场旋挖钻孔和挖方产生的土,减少了土方的外运量,从而降低了工程投资成本。

(2)DDC桩有效增强了路基的承载能力,提高了路床顶面的压实度,并减小了路床顶面的弯沉值,这种处理方法满足了道路设计要求,从而保障了道路运行过程中的安全性和稳定性。

参考文献:

[1] 黄晓明.路基路面工程[M].北京:人民交通出版社,2013.
[2] 张昕,易磊.城市道路杂填土路基处理方法研究与应用[J].城市道桥与防洪,2018(11):57-60.
[3] 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.
[4] CECS 197—2006,孔内深层强夯技术规程[S].
[5] CJJ 194—2013,城市道路路基设计规范[S].
[6] JGJ 79—2012,建筑地基处理技术规范[S].
[7] JGJ 340—2015,建筑地基检测技术规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com