

# 水泥土搅拌桩在城市道路软土地基的应用

苏传行, 赵甜甜

(中国城市建设研究院有限公司, 北京市 100120)

**摘要:** 简要分析了软土地基的特点和危害,并介绍了软土地基处置的原则及必要性;基于实际工程案例,研究了水泥土搅拌桩在城市道路软土地基中的运用效果,并分别计算和分析了3种设定工况下不同路堤填土高度的路基工后沉降值(路中)以及工后沉降规律。通过总结发现:在一定条件下,与普通水泥土搅拌桩复合地基处理方法相比,长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基处理方法更为有效,它不仅能提高地基承载能力,而且能减小路基工后沉降,压缩工期,取得预期效果。

**关键词:** 水泥土搅拌桩;软土;地基处理;城市道路

**中图分类号:** TU472.6

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)03-0031-03

## 0 引言

目前我国依然处于城镇化快速发展时期,城镇道路的建设需求依然较大,城市建设取得了显著成就,工程质量越来越受重视,如何高质量、高水准地完成工程项目将是未来发展的重中之重。城市道路工程在实施时常常会遇到复杂多样的地质情况,如软土、膨胀土、湿陷性黄土、盐渍土等,这些特殊土的深度、厚度、分布、状况等与项目所处地理位置有关,情况非常复杂。

软土在我国分布比较广泛,一般沿江、河、湖、海等处广泛分布。这些地区往往是经济较为发达的地区,无论是主要的干路,还是细化补充的支路均有较高的交通需求。然而软土往往会使路基产生滑坡、开裂、沉降过大等病害,从而对行车造成较大安全威胁。对软土地基进行科学合理的处理,可以提高地基承载能力,减小路基工后沉降,对提高道路结构的安全性、稳定性具有深远意义。因此,在道路实施过程中,如何妥善处置软土地基非常重要。本文将以实际案例为依托,对水泥土搅拌桩在城市道路软土地基中的运用效果进行研究。

## 1 软土及软土地基

常见的软土类型包括泥炭质土、淤泥、淤泥质土和软黏性土等。若没有合理处置,将对工程造成较大

影响。

### 1.1 软土地基特点

软土一般是指天然含水量较高(通常含水量达到70%以上)、孔隙比较大、压缩性高、抗剪强度低的软塑-流塑状态下的细粒土。此外,软土还具有固结时间长、灵敏度高、扰动性大、透水性差、土层层状分布比较复杂、各层之间物理力学性质相差较大,无规律可循等特点<sup>[1]</sup>。

### 1.2 软土地基影响

由于软土地基具有较强的压缩性,也就意味着软土本身承受荷载的能力非常有限,若软土地基不经过处理而直接进行工程建设,软弱土层会导致路面纵向开裂,也可能导致边坡失稳或工程完全无法建设。局部存在的软土会导致路面不均匀沉降甚至完全塌陷,造成路面损毁的严重事故。

### 1.3 软土地基处置的必要性

城市道路工程建设对路基承载力有一定要求。通过合理的处置可以改善路基土压缩性、渗透性等关键指标,从而提高软土路基的承载能力及其回弹模量,对减少路基工后沉降和不均匀沉降具有一定的效果。另外,合理的软土路基设计,能够间接保证路面结构层的质量,减少后期维护成本,提高路面舒适度。综上,软土路基处治具有重要的现实意义和必要性。

### 1.4 软土地基处置原则

在路线不可避免地通过软土地区时,首先要根据地勘报告提供的地质情况,结合相关道路规范,在满足相关设计参数要求的前提下选择合适的路基处置方式;其次要考虑经济性及其他一些客观存在的制约

收稿日期: 2023-03-30

作者简介: 苏传行(1990—),男,硕士,工程师,从事道路设计工作。

因素如工期要求等,保证设计上达到最优;此外还应考虑因地制宜的原则,要将气候、水文、工程材料等因素纳入考量范围。

## 2 工程概况

江门市某片区道路建设项目中拟建场地位处珠江三角洲冲积平原地貌,地形平坦开阔,场地现状为大面积的园林。片区内原有农田、沟渠及水塘已基本被夷平,场地较为平坦,适合建设。本次设计道路路线总长约 1 km,工程采用城市主干路标准,双向 4 车道,设计速度 60 km/h,道路红线宽度 24 m,属新建道路;场地内未发现滑坡、崩塌、岩溶等不良地质现象,但存在软土,因此必须制定应对措施。

根据本次钻探揭露地层,结合初步勘察设计成果及区域地质资料,本次勘察深度范围内主要分布的地层有:人工填土、粉质黏土、淤泥质土、粉砂、中砂等。其中人工填土层主要分布在沿线场地浅表层,沿线软土层两端分布厚度较厚,中间稍薄,厚度变化不大,是道路结构经过的主要土层。经现场勘测确定的该项目主要土层物理力学参数(重度  $\gamma$ 、黏聚力  $c$ 、内摩擦角  $\varphi$  等)见表 1。

表 1 主要土层物理力学参数表

土层	平均厚度 /m	压缩模量 /MPa	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$c/\text{kPa}$	$\varphi/(\text{°})$
人工填土	2	4	18.9	12	9
粉质黏土	5	5	19.5	30	15
淤泥质土	8	2.5	17.4	6.4	4.4
粉砂	5	8	20	0	25
中砂	4	14	20	0	26

## 3 水泥土搅拌桩地基处置技术特点

该场地内软土分布广泛且厚度较大,不适合浅层换填处理。由于工期紧张,若采用塑料排水板及预压技术,因控制措施不足,将难以保证质量,因此不适用于本项目。最终决定采用水泥土搅拌桩复合地基技术<sup>[2]</sup>。水泥土搅拌桩施工速度快,沉降变形容易控制,承载力较高,而且有成熟的工艺和经验,工程质量有保障。本工程采用长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩对软土进行地基处理,相比于传统水泥土搅拌桩,其工期相对缩短,投资费用也可节约,能够取得较好的经济效果。但这种地基处理方法在当地的道路工程建设中使用不多。

本工程所采用的长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基,桩径 0.6 m,桩顶桩间距 1.5 m,采用正方形布桩。桩顶上铺厚 30 cm 级配碎石褥垫层,其中碎石顶面下 15 cm 铺 1 层双向土工格栅,路基坡脚线以外保证 1 排水泥土搅拌桩,褥垫层顺应外延,其布置如图 1 所示。

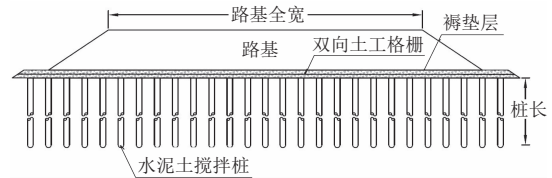


图 1 水泥土搅拌桩横断面布置图

该项目淤泥质土层主要位于厚 2 m 素填土以下 8 m 范围内。上层软土较多的区域长桩和短桩共同构建成桩基群,密度相对较大,桩土置换率较高,相应的承载力和变形模量也较高;而下层仅有长桩部分,因桩间距变大,其置换率相对较低,相应的承载力和变形模量也较低。这也符合道路各层受力的客观规律,与在荷载作用下,上部即地基土浅层附加应力大而深层附加应力小的特点相匹配。长桩+短桩的布置形式充分发挥了水泥土搅拌桩的承载力,同时又实现了筑路材料的节约。受该范围内软土的影响,在荷载作用下,长桩在提高承载力的同时,更重要的是能够减少道路的工后沉降。

## 4 水泥土搅拌桩复合地基验算分析

该项目采用理正岩土软件对相关设计数据进行验算分析,由此检验该长桩+短桩形式复合地基应用的可行性。由于本项目所处区域范围内场地较为平整,不存在较高填方的情形,为保证准确性,结合控制性规划及现场勘测的场地整平后实际标高来设计道路纵断。在整理逐桩横断面数据后,发现路堤填土高度均在 1~4 m。根据以上设计数据,地基处理设定以下 3 种工况:

工况一:路基下均采用长 10 m 的标准长度水泥土搅拌桩复合地基,桩径 0.6 m,桩间距 1.2 m。

工况二:路基下采用长 10 m 短桩+长 15 m 长桩组成的水泥土搅拌桩复合桩基,桩径均为 0.6 m,桩基顶面桩间距 1.2 m,长桩与短桩间隔布置,布置形式见图 2。

工况三:路基不做任何处理。

针对以上 3 种工况,分别以 1、2、3、4 m 的路堤填土高度来计算路基工后沉降(路中)。不同路堤填土高度下的路基工后沉降曲线见图 3。

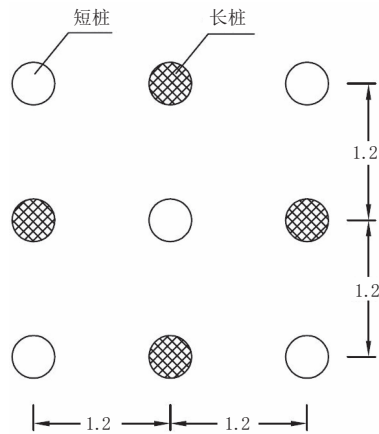


图2 长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩桩基布置图(单位:m)

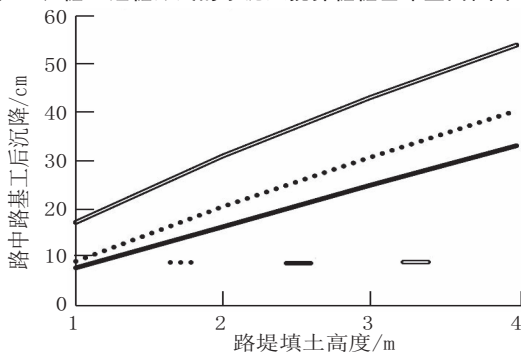


图3 不同路堤填土高度下的路基工后沉降曲线

由图3可知,在3种工况下,路基工后沉降值均随着路堤填高的增加而增加,这种趋势在工况三下最为明显,其值最大且斜率最大;而工况二即长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基其值最小、斜率最小,影响相对最小,说明在本项目地质条件下,在4 m填高范围内,路堤填高越大,长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基抵抗沉降作用越明显;工况一则夹在工况二和工况三之间,相对于工况三,其路基工后沉降显著减少,在路堤填土高度为1 m时,工况一与工况二的工后沉降相差较小,但随着路堤填高增加,两者沉降的差距逐渐加大,说明工况二效果更为明显,具有一定优势。

根据《城市道路路基设计规范》(CJJ 194—2013)要求,城市主干路一般路段沉降要求不大于0.3 m,涵洞处沉降不大于0.2 m,桥台与路堤相邻处沉降不大于0.1 m。显然对于一般路段,当路堤填土高度超过2 m时,工况三下的路基工后沉降值已超过30 cm,意味着必须进行特殊地基处理;当路堤填土高度超过3 m时,工况一下的路基工后沉降值也超过了30 cm,需要考虑长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基;当路堤填土高度达到4 m时,工况二下的路基工后沉降值也超过了30 cm,需要进一步完善设计,如采取加长桩基长度、增加桩基布置密度或增加桩径

等措施。对于涵洞处,规范要求不能超过0.2 m的工后沉降,此时工况三已经无法满足要求,必须进行特殊地基处理措施;在路堤填土高度在1 m以内时,工况一、二均能满足要求;当路堤填土高度在2 m时,仅工况二能够满足要求;当路堤填土高度超过2 m以后,3种工况均无法满足要求,此时需要进一步优化长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基设计。对于在桥台与路堤相邻处,当路堤填土高度在1 m以内时,工况一、二均能满足要求;当路堤填土高度超过1 m后,3种工况均无法满足要求,此时也需要进一步优化长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基设计或采取其他措施。

综上,一般路段当路堤填土高度超过2 m时应进行特殊地基处理;涵洞处路堤填土高度超过1 m时应进行特殊地基处理,并且随着路堤填土高度的增加,宜考虑设置长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基处理模式;桥台与路堤相邻处必须进行特殊地基处理,并且随着路堤填土高度的增加,建议采用长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基并进行适当优化设计,如增加桩长、增加桩基布置密度或增加桩径等能提高桩土置换率的措施。

采用水泥土搅拌桩复合地基的处理方法,有效地解决了路基工后沉降过大的问题<sup>[3]</sup>。如果采用均长桩,可能面临工期紧张且相对造价高的问题,通过本项目的数据分析,针对不同的路段,提供了不同的地基处理方案,并针对路基沉降要求高的区域提供了一种新的地基处理思路,即长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基处理模式。相比传统水泥土搅拌桩复合地基处理,该模式在技术上不存在问题,同时具有一定的经济优越性,设计时需结合项目场地范围内的地质情况进行具体分析,必要时可进行有限元数值模拟分析或其他软件的验算分析,综合考量长、短桩长度,甚至长桩与短桩采用不同的桩径或桩间距,或是长桩采用刚性桩、短桩采用柔性桩。以上均是未来研究的重点。本文所设计的长桩不仅能提高上部土体的强度,同时还能提高中下部软土刚度,确保复合地基的承载能力和工后沉降要求;通过水泥土搅拌桩复合地基的处理,还能改良土性<sup>[4]</sup>,提高土体均匀性,有效避免路基不均匀沉降等不利影响。

## 5 结语

(1)在桥涵衔接处,由于规范要求较高,无论路

(下转第38页)





图 12 波形梁护栏立柱埋置方式图示

表 9 不同车型碰撞护栏计算结果表

护栏类型	碰撞过程	碰撞结果
打桩式		成功通过 车辆碰撞 分析
混凝土基础式		成功通过 车辆碰撞 分析
预埋套筒式		成功通过 车辆碰撞 分析
预埋地脚螺栓式		成功通过 车辆碰撞 分析

需求。

## 7 结论

(1)通过 A 级波形梁护栏加强方案研究,提出一

种双层波形梁护栏结构,根据计算机仿真结果,可将其对大客车防护能力提高 64.3%,对大货车防护能力提高 108%。其研究成果已成功在广清连续 S 弯道路段应用,有效提高了该事故多发路段的安全运营能力。

(2)通过分析不同基础护栏的安全防护能力,根据计算机仿真结果,四种基础方式均可满足 A 级安全防护性能需求。为此可根据实际工程工况选择合适的基础方式。

### 参考文献:

- [1] JTG/T D81—2017,公路交通安全设施设计细则[S].
- [2] JTG D81—2017,公路交通安全设施设计规范[S].
- [3] JTG B05-01—2013,公路护栏安全性能评价标准[S].
- [4] 刘航,龚帅,刘思源,等.高速公路旧波形梁护栏改造研[J].公路工程,2020,45(6):173-180.
- [5] 闫书明,陈冠雄,刘航.几种改进的波形梁护栏的碰撞分析[J].公路工程,2016,41(1):167-171,201.
- [6] 裴大军,张望鹏,邓宝,等.防撞护栏最大动态变形量敏感性分析[J].公路工程,2020,45(2):224-228.
- [7] 吕思中,刘甲荣,闫书明.公路 SB 级三波形梁钢护栏安全应用技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
- [8] 赛志毅.高速公路护栏改造关键技术与应用[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [9] 刘晓波,王新,刘思源,等.基于仿真模拟技术的 SB 级波形梁护栏梁板中心设置高度研究[J].中外公路,2021,41(2):352-356.
- [10] 周翔海,陈卫霞,邓宝,等.波形梁护栏立柱承载能力研究[J].中外公路,2021,41(2):356-360.

(上接第 33 页)

堤填土高度多少,一般均应对路基进行处理。结合路堤填土高度,可优先考虑长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基处理模式。

(2)在设定的 3 种工况中,长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基处理效果最好。虽然在路堤填土高度小于 1 m 时的效果一般,但在 4 m 填土高度范围内,随着路堤填土高度的增加,其作用越发明显。

(3)相比普通水泥土搅拌桩,长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复合地基处理方案能够更好地解决路基工后沉降过大的问题。

(4)本项目的长桩+短桩形式的水泥土搅拌桩复

合地基处理方法,可以作为类似工程条件地基处理的一种参考。该方法相比传统水泥土搅拌桩复合地基处理模式拥有相对经济优越性,且有利于缩短工期,具有一定的现实意义和推广价值。

### 参考文献:

- [1] 李云浩,刘方.道路工程施工中的软土地基处理技术[J].工程建设与设计,2022(16):206-208.
- [2] GBT 50783—2012,复合地基技术规范[S].
- [3] 殷爱国,刘明辉.水泥搅拌桩复合地基在郑焦城际铁路软基处理中的应用[J].路基工程,2011(4):159-161,165.
- [4] 刘海源,李致立,李成芳.高压旋喷桩复合地基在软土地基处理中的应用[J].重庆建筑,2022(7):70-72.