

Research on construction technology of deep silt soft foundation in coastal tidal flats

Jianhua Zhao¹ Wenqi Hu¹ Erdong Wang¹ Zhaohai Shen¹ He Li^{2*}

1. CCCC Road and Bridge Construction Co., Ltd., Beijing, 101113, China

2. School of Architecture and Engineering, Taishan University of Science and Technology, Tai'an, Shandong, 271000, China

Abstract

With the rapid development of China's economy, the demand for building expressways and other infrastructure on the soft land foundation has increased. This paper takes the project of Ningde Lithium electric Car Bay area as an example, introduces the engineering geological characteristics of the site and the requirements for the approach road in detail. According to the foundation of the deep silt in the coastal beach zone, adopts the composite foundation, and adopts the surrounding two-way cement mixing pile construction + steel plate pile + steel support for the support method. The reinforcement effect of deep soft soil subgrade is monitored, and the practice shows that this method can achieve better reinforcement effect in the supporting project. It provides operational suggestions and reference for the future construction of related projects.

Keywords

Mudflat zone; Soft soil foundation; Foundation treatment; reinforcing effect

沿海滩涂地带深层淤泥软基处理施工技术研究

赵建华¹ 胡文启¹ 王二东¹ 申兆海¹ 李贺^{2*}

1. 中交路桥建设有限公司, 中国·北京 101113

2. 泰山科技学院建筑工程学院, 中国·山东 泰安 271000

摘 要

随着我国经济的快速发展, 在软土地基上建设高速公路等基础设施需求增加。本文以宁德锂电车里湾片区项目为例, 详细介绍其场地工程地质特点、对进场道路的要求, 针对沿海滩涂地带深层淤泥的地基, 采用复合地基, 对于采用支护方法采用周边双向水泥搅拌桩施工+拉森钢板桩+型钢支撑。并对深层软土路基处理加固效果进行了监测, 实践表明, 该方法能够在依托工程中取得较好的加固效果。为未来相关工程的建设提供了可操作建议和参考。

关键词

滩涂地带; 软土地基; 地基处理; 加固效果

1 引言

近年来在“交通强国”战略的全面实施和“新基建”提速的大背景下, 建设公路等基础设施的需求不断增大。在公路建设中, 特别是南方沿海滩涂改路项目中, 经常会遇到软基处理的技术难题^[1]。软土地基的不良工程地质特性, 如高压缩性、低强度、低渗透性等, 决定了在软土地基上进行工程建设必须采取地基处理措施^[2]。目前, 国内外较成熟的深层软土地基处理方式主要有排水固结法、水泥搅拌桩、水

泥粉煤灰碎石桩、预应力管桩等^[3]。现有文献对软土地基的处理大多针对浅薄层的土体, 针对沿海相沉积的深厚软土地基处理的研究不多, 而传统的浅薄层软土处理方法难以应用于深厚软土地基。

2 工程概况

2.1 场地位置

本项目位于福建省宁德市蕉城区飞鸾镇车里湾, 面积约 1900 亩, 通过填海造地形成。路线起于蕉城区城南镇福洋村, 顺接现状国道 G104 线, 路线全长约 5.2 公里。

2.2 场地工程地质特点

沿线软弱土主要分布于海滩地貌, 据钻探揭露, 道路沿线各岩土体从上至下为①素填土、②淤泥、③卵石、④粉质粘土、⑤中砂、⑥残积粘性土、⑦全风化花岗岩、⑧强风化花岗岩及⑨中风化花岗岩。

【作者简介】赵建华(1984-), 男, 中国新疆伊宁人, 工程师, 从事土木工程研究。

【通讯作者】李贺(1993-), 女, 中国山东临沂人, 硕士, 讲师, 从事岩土工程和结构工程研究。

该类地基土含水量大，孔隙比高，强度低、渗透性低，且在外载作用下有较大的沉降变形。路线跨越海滩地貌区，大部分段落以路基的形式通过，由于软土层强度低、压缩性高、灵敏度大，其工程性能差，路堤填筑后在荷载作用下会产生不均匀沉降及路堤失稳等问题，软基需进行特殊处理。

2.3 项目对进场道路的要求

项目全线按双向四车道一级公路标准建设，设计速度采用 60 公里 / 小时，路基宽度 19.1 米 (=4X3.5 米行车道 +2.1 米中分带 +2X0.75 米硬路肩 +2X0.75 米土路肩)，沥青混凝土路面。桥涵设计荷载等级采用公路 I 级，路基及桥涵设计洪水频率采用 1/100，其他技术指标按交通部颁《公路工程技术标准》(JTG B01-2014) 执行

2.4 施工方案

大部分路段淤泥层平均厚度 20.5m，淤泥层底埋深 10~21m，填方高度约 4.1~5.1m，经初步估算，超过了规范规定的容许工后沉降量，应进行软基加固处理。由于处理区域面积大，局部段落淤泥较厚，且道路范围布置有缆线管廊，综合考虑软土地层分布、填土高度及构筑物布置等情况，采用复合地基处理，先将淤泥开挖换填素土，再进行双向水泥搅拌桩施工。考虑施工场地工程地质、水文条件、基坑周边环境及基坑开挖深度，依据有关技术标准，拟定对本工程采用支护方法如下：周边双向水泥搅拌桩施工 + 拉森钢板桩 + 型钢支撑。

3 沿海滩涂地带深层淤泥软基处理设计参数及施工工艺

3.1 施工准备

本项目路基填料利用挖方废弃的石料填筑。硬质岩石、中硬岩砂作路床路堤填料；当挖方区为硬质岩石时，填方区应采用填石路堤。施工设备按要求安排进场，物质设备装备部须对机械设备性能进行检查，性能状况良好方可进场施工。

3.2 工艺性试桩

为严格控制双向水泥土搅拌桩施工质量，在正式施工前，必须进行现场工艺性试桩，试桩根数不少于 3 根，根据单桩承载力试验确定施工掺和比，取得可靠的、符合设计要求的工艺控制数据，水泥用量为 18%，水灰比为 0.5。以指导本段水泥搅拌桩大面积施工。

4 沿海滩涂地带深层淤泥软基处理施工方法

4.1 清淤换填

该处地表为深厚淤泥质土，目前淤泥层顶标高为 4.3 米，高于设计路面标高 3 米，施工该处泵站，需挖除 4 米厚淤泥层，换填素土，清淤换填工程量统计表见表 1。满足水泥搅拌桩机械施工条件后，进行水泥搅拌桩的施工。

4.2 水泥搅拌桩施工

待施工区域换填达满足水泥搅拌桩机承载力后进场，

进行水泥搅拌桩施工。基坑区域外侧两米采用一排加密水泥搅拌桩，每根搅拌桩间距 0.6m。

表 1 清淤换填工程量统计表

序号	名称	数量	单位	备注
1	挖除淤泥	14800	m³	挖除厚度 4m
2	换填素土	7400	m³	填土厚度 2m

4.2.1 测量放样

施工前，根据设计图纸，定位放线，开挖沟槽，放第一组桩粒，根据设计图纸尺寸带线，由专职测量员作业，测放桩位与设计图误差不大于 2cm，搅拌桩机对位偏差不大于 2cm。

4.2.2 制备水泥浆

水泥用量按设计标准为土体质量的 18%，水灰比为 0.5，施工中加水可使用定量容器进行用水量控制。

4.2.3 预拌下沉喷浆

待水泥搅拌桩机的冷却水循环正常后，启动搅拌桩机电机，放松吊索，使搅拌桩机沿导向架搅拌切土下沉。开始喷浆搅拌，喷浆过程中，不断搅拌水泥浆。随时观察设备运行及地层变化情况，钻头下沉至设计深度位置时，停止钻进。

4.2.4 提升喷浆

提升钻头喷浆。喷浆过程中，不断搅拌水泥浆，防止其离析，保证足够喷浆量，离地面 50cm 时，停止喷浆。

4.2.5 清洗

桩机停止施工或施工间歇时间太长时，向水泥浆搅拌桶中加入清水，开启灰浆泵，清洗全部管中残存的水泥浆。直至基本干净，并将粘附在搅拌头的软土清洗干净。

4.2.6 移位

桩机移至进行下一桩位，重复进行上述步骤的施工。

4.3 拉森钢板桩的施工

根据施工设计要求：管道埋深小于 3m 采用放坡开挖施工，淤泥地段采用 6m 拉森钢板桩支护施工。管道埋深 3~5m 时采用 9m 拉森钢板桩支护施工，管道埋深 5~8m 时采用 12m 拉森钢板桩支护施工，管道埋深超过 8m 采用 15m 拉森钢板桩支护施工。其主要设计结构形式如图 1 所示：

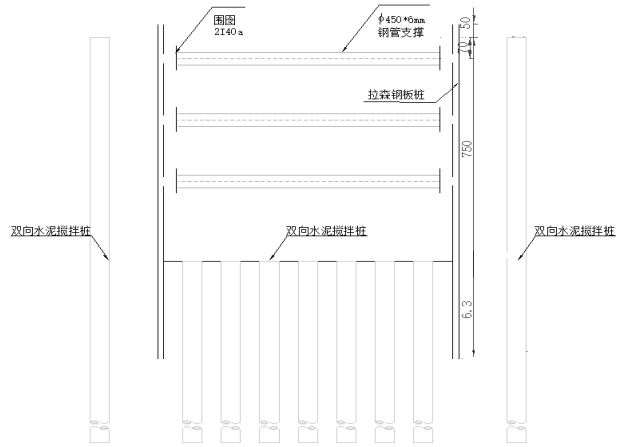


图 1 基坑钢板桩支护立面图

如上图所示本次钢围檩采用 2I40a 工字钢，钢支撑采用型号 $\phi 450 \times 6\text{mm}$ 钢管，16m 拉森钢板桩采用三道支撑。钢板桩支护工程量见表 2。

表 2 钢板桩支护工程量一览表

序号	名称	材料	规格	单根长 (m)	根数	总量 (kg)
1	钢板桩	16Mn	拉森 IV 型	15	88	107148.80
2	工字钢围檩	Q235	双拼 I40a	42.8	3	17359.68
3	钢管支撑	Q235	$\phi 450 \times 6$	25.4	3	5006.34
4				3.3	3	650.43
合计						130165.25

4.3.1 引孔施工

当钢板桩支护遇到密实的碎石类、全分化、强分化岩等，可采用旋挖钻机引孔灌砂插入。

4.3.2 施工工艺

打桩机械。主机采用履带式挖机（带振动锤），便于每根桩校正，以振动体上下振动而使板桩沉入，贯入效果好。

钢板桩的检验及矫正。外观检验：包括表面缺陷、长度、宽度、厚度、高度、端部矩形比、平直度和锁口形状等项内容。

材质检验：对钢板桩母材的化学成分及机械性能进行全面试验。

对钢板桩的矫正：分为材质检验和外观检验，以便对不合要求的板桩进行矫正，以减少打桩过程中的困难。

钢板桩的吊运。装卸钢板桩宜采用两点吊。吊运时，每次起吊的钢板桩根数不宜过多，以保护锁口免受损伤。吊运方式有成捆起吊和单根起吊。

钢板桩堆放。打桩施工现场钢板桩应分层堆放，每层堆放数量一般不超过 5 根，各层间要垫枕木，垫木间距一般为 3 ~ 4 米，且上、下层垫木应在同一垂直线上，堆放的总高度不宜超过 1 米。

导架的安装。为了保证钢板桩位置的准确性，利用钢围檩做钢板桩安装导梁，打设方法选用屏风法施工，严格控制垂直度，用电焊固定在导梁上，从一端开始逐块插打，拉森钢板桩安装定位示意图见图 2。围檩不能随钢板桩的打设而产生下沉和变形，且导梁位置应尽量垂直，并不能与钢板桩碰撞。

钢板桩的打设。用打桩机将钢板桩放至插桩位置，插桩时锁口对准。每一流水段落的第一块钢板作为定位桩，应先沿钢板桩的行进方向反向倾斜 8 度左右，再开动振动锤，利用振动力把桩沉至离地面 1 米左右停止。然后吊第二根、第三根逐步插打。

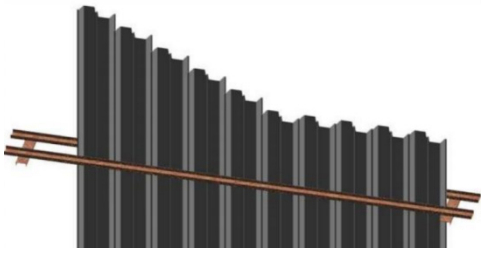


图 2 拉森钢板桩安装定位示意图

4.4 明挖施工

本次深基坑采用钢板桩的支护结构形式，当基坑深度为 $8\text{m} \leq H$ 时，采取 15m 长 IV 型拉森钢板桩支护 + 三道钢支撑进行基坑支护，钢板桩之间采用 2I40a 工字钢的钢围檩进行连接，钢支撑水平间距要求 $\leq 3.5\text{m}$ 。在架设钢板桩支撑前采取退挖法施工，剩余土石方则采取侧挖法，纵向基坑开挖从中间向两边同时开挖。

4.5 基坑降水

施工现场合理组织地下水排放，有足够的排水设备（水泵）对汇集的地下水进行抽排疏导，地下水排入排洪渠中。

5 施工监测

本项目基坑安全等级二级，基坑变形控制等级为二级。地面最大沉降量控制值 $\leq 0.15\%H$ ，且 $\leq 30\text{mm}$ ；支护结构最大水平位移 $\leq 0.2\%H$ ，且 $\leq 30\text{mm}$ ，同时应满足周边管线变形控制要求。

6 结论

本文通过对宁德滩涂淤泥软土地基处理及加固技术的研究，总结该区域采用复合地基 + 周边双向水泥搅拌桩施工 + 拉森钢板桩 + 型钢支撑施工的经验；通过在施工期间对工程的监测，证明了该方法对于滩涂淤泥软土地基处理的优越性。同时，通过对多种软土地基处理方案的研究和实践，证明了采用复合地基 + 周边双向水泥搅拌桩施工 + 拉森钢板桩 + 型钢支撑等多种施工工艺相结合的综合处置办法，能够有效地处理软土地基问题，提高地基的承载能力和稳定性，为类似工程的建设提供了参考和借鉴。

参考文献

[1] 程全,甘磊,袁晓伟.狮子洋通道工程软基处理方案的研究[J].公路,2024,69(07):151-154.
[2] 徐至钧.软土地基和预压法地基处理[M].北京:机械工业出版社,2004,103-106.
[3] 赵翔,周国辉,王彦虎.水泥土搅拌桩联合堆载预压软基处理沉降特性研究[J].交通科技与管理,2025,6(01):136-139.