



引孔超长碎石桩处理硬土层下卧软土技术方案

黄彬

(福建省交通规划设计院, 福建 福州 350004)

摘要: 针对福州港可门作业区1[#]~3[#]泊位工程排洪沟护岸存在深厚软土地基, 但场地表层被块石覆盖而难以进行下卧层软基处理的问题, 提出采用引孔结合沉管碎石桩法进行软基处理的方案。该方案成功解决了穿透硬土层处理下卧软土层的技术难题, 取得了良好效果。该设计方案及施工方法可为类似工程的设计及施工提供借鉴。

关键词: 引孔; 沉管碎石桩; 护岸; 软基处理

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0174-05

DOI:10.16233/j.cnki.issn1002-4972.2016.08.032

Technical scheme of dealing with the underlying soft soil under hard soil layer by guiding hole for extra long gravel pile

HUANG Bin

(Fujian Communication Planning and Design Institute, Fuzhou 350004, China)

Abstract: In the 1~3 berth project at Kemen work zone in Fuzhou port, deep soft foundation exists at the revetment of flood discharge trench, but the surface layer is covered by so many block stones that it is difficult to implement soft foundation treatment to the substratum. Aiming at this problem, the scheme of adopting the method of combing guide hole with pipe sinking gravel pile was put forward for the soft foundation treatment. This scheme successfully solved the technical problem of dealing with the underlying soft layer by penetrating hard layer, and obtained a good effect. This designing scheme and construction method can provide a reference for the design and construction of similar projects.

Keywords: guiding hole; pipe sinking gravel pile; revetment; soft foundation

某些场地软土地基深厚, 但由于上覆回填厚度较大的石料或硬土层, 造成下卧淤泥层软基处理困难, 研究如何穿透硬土层进行下卧软土层的处理具有重要现实意义。引孔结合沉管碎石桩法是利用冲孔机引孔穿透硬土层后, 采用冲击或振动沉管方式, 在软基中成孔, 管内填入碎石并将其挤压入孔中, 形成较大直径的、由碎石构成密实桩体的地基处理方法。

本文以福州港可门作业区1[#]~3[#]泊位工程排洪沟护岸软基处理为例, 分析总结引孔结合沉管碎

石桩法的设计和施工关键技术。

1 工程概况

福州港罗源湾港区可门作业区1[#]~3[#]泊位为专业化散货泊位^[1], 码头岸线总长911 m, 码头水工结构按可靠泊40万t散货船设计, 港区陆域总面积约76万m², 设计年吞吐量2130万t。陆域布置有码头堆场和神华罗源湾电厂(图1), 因后方村庄的排洪和电厂的排水需要, 在3[#]、4[#]泊位之间设置一条长1322 m的排洪沟。

收稿日期: 2016-03-15

作者简介: 黄彬(1973—), 男, 高级工程师, 从事港口及航道设计、咨询工作。

本项目总平面自北向南分为码头堆场和电厂两个功能区，码头堆场自西向东依次布置了生产辅助区及散货堆场区(图 1)。其中电厂区设计均布荷载为 60 kPa，生产辅助区均布荷载为 20 kPa，散货堆场均布荷载为 150 kPa。

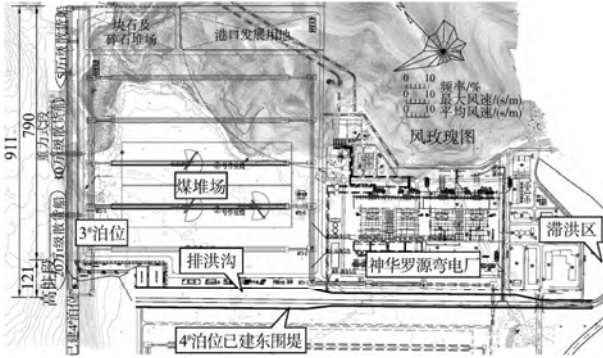


图 1 总平面布置 (单位: m)

2 水文地质条件

2.1 设计水位

设计高水位 6.89 m(高程基准为当地理论最低潮面)，设计低水位 0.51 m。

2.2 工程地质条件

排洪沟护岸范围土层自上而下主要为填石、淤泥、黏性土混碎石、风化岩层。填石层为相邻的 4# 泊位前期建设时的抛石压载形成，由开山块

石、碎石组成。块石粒径 20~70 cm，含量 50%~70%；碎石粒径 2~19 cm，含量 30%~40%。充填少量的砾石、砂粒和黏性土，空洞空隙较大，透水性强，厚度大部分在 0.50~4.3 m。淤泥软土层分布于全场地，厚度 15.6~30.8 m，特点是高含水量、大孔隙比、强压缩性、低强度、大变形的，工程地质条件极差，需对其进行软基处理^[2]。主要土层物理力学指标见表 1 及图 2。

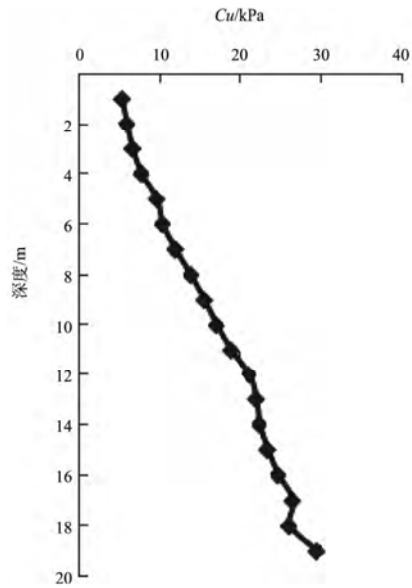


图 2 淤泥十字板抗剪强度与深度关系曲线

表 1 主要土层物理力学指标

土层	含水率 W/%	天然密度/ (t/m ³)	孔隙比 e	压缩模量 E _{s,1-2} /MPa	天然快剪		固结快剪	
					C/kPa	φ/(°)	C/kPa	φ/(°)
填石		2.00			0	45		
淤泥	64.9	1.57	1.782	1.67	8.0	1.6	8.0	13.7
黏性土混碎石	21.6	1.81	0.671	21.5	20	28		
散体状强风化凝灰熔岩		1.90		43.5	32	30		

3 护岸地基处理设计及施工

3.1 护岸工程主要特点

1) 地质条件复杂，淤泥面被抛石覆盖。

护岸区软土层厚度特别大，淤泥层平均厚度为 24.5 m，最大达 30.8 m，且因相邻 4# 泊位东围堤的建设，大部分区域淤泥面上被抛石覆盖，地基处理深度大、难度大。

2) 陆域空间有限，排洪沟护岸应少占地。

本工程东侧山体高达 256 m，短期内大开挖形

成陆域很困难。在有限的陆域空间内布置码头堆场及电厂，用地紧张，排洪沟护岸应尽量少占地。

3) 护岸后方使用荷载大。

护岸后方布置有煤炭堆场，均载达到 150 kPa，对护岸的整体稳定造成不利影响，护岸软基处理必须能适应后方堆载。

3.2 地基处理设计方案

护岸总长 1 322 m，部分没有抛石覆盖的段落可直接铺设中粗砂垫层后施打塑料排水板，之后

分层回填开山石进行超载预压。其余抛石覆盖区均存在下卧层软基处理的技术难题。

抛石覆盖区高程0~1.5 m, 表面抛石覆盖层厚度大部分为0.5~4.3 m, 若采用挖掘机挖除抛石后施打塑料排水板, 不但要乘潮作业, 而且很难挖除干净, 并可能引起已建的4#泊位围堤失稳。同时, 由于相邻的4#泊位已投产, 也不适合采用爆破挤淤方案。因此, 采用开挖后施打塑料排水板、爆破挤淤等常规的地基处理方法均不可行。该区域地基处理方法需能穿透抛石层, 并增加下

卧淤泥层的承载力, 达到护岸整体稳定的要求。

考虑到工程后方石料来源丰富, 设计提出采用引孔结合振动沉管碎石桩法的方案。先采用冲击式冲孔机穿透抛石层, 再采用振动沉管碎石桩进行抛石层下的软基加固, 之后分层回填开山石进行超载预压, 卸载后采用4 000 kN·m强夯加固的方案进行地基处理, 地基加固后再开挖成排洪沟护岸(图3)。该方案满足了护岸的整体稳定及沉降要求, 又达到少占地、增加陆域面积的效果。

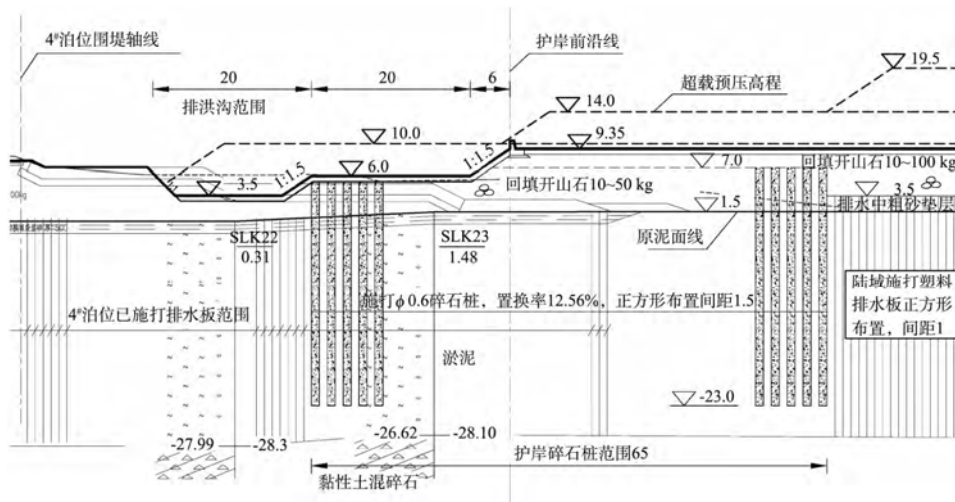


图3 护岸地基处理断面(单位:m)

3.3 设计计算及技术要求

1) 碎石桩的作用原理^[3]。

①置换作用。

沉管碎石桩对黏性土地基的置换作用是将桩管位置工程性能较差的土挤排至四周并换以性能较好的碎石。碎石桩在软黏土中成桩以后, 就形成桩体与桩间土共同组成的复合地基, 由密实的碎石桩桩体取代了与桩体体积相同的软弱土, 因为碎石桩的强度和抗变形性能等均优于其周围的土, 所以形成的复合地基的承载力就比原来天然地基的承载力大, 沉降量也比天然地基小, 从而提高了地基的整体稳定性和抗破坏能力。

②排水作用。

碎石桩体不仅置换了土层, 还形成良好的竖向排水通道, 从而可以加快地基的固结速率。

2) 整体稳定性计算。

施打碎石桩区域形成的复合土层的内摩擦角和粘聚力标准值按下列公式计算^[4]:

$$\tan\Phi_{SP} = m\mu_p + (1 - m\mu_p) \tan\Phi_s \tag{1}$$

$$C_{SP} = (1 - m) C_s \tag{2}$$

$$\mu_p = \frac{n}{1 + (n - 1)m} \tag{3}$$

式中: Φ_{SP} 为复合土层内摩擦角标准值(°); m 为面积置换率; μ_p 为应力集中系数; Φ_p 为桩体材料内摩擦角标准值(°); Φ_s 为桩间土内摩擦角标准值(°); C_{SP} 为复合土层粘聚力标准值(kPa); C_s 为桩间土粘聚力标准值(kPa); n 为桩土应力比。

本项目碎石桩正方形布置, 间距1.5 m, 置换率12.56%。经计算复合土层的 $\Phi_{SP} = 17.3^\circ$, $C_{SP} = 7$ kPa。由于沉管碎石桩设备的沉管长度大部分小

于30 m,考虑碎石桩长度30 m,桩底下留有未处理淤泥层厚度5 m的最不利情况下,整体稳定性验算结果满足《港口工程地基规范》要求,见图4。

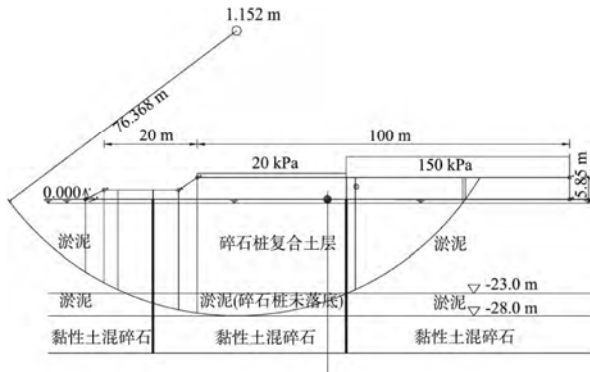


图4 护岸整体稳定计算示意图

3) 技术要求。

①成桩的条件。根据《港口工程碎石桩复合地基设计与施工规程》,对于不排水抗剪强度小于30 kPa的饱和黏性土地基,应通过现场试验确定其适用性。本工程的淤泥不排水抗剪强度小于30 kPa,表层最小仅为5.3 kPa(图2),且淤泥层厚度大、成桩难度大。为了有利于碎石桩成桩及能够在陆上施工,采用粒径小于200 mm的小块石回填至7.0 m后再实施碎石桩。同时,要求先进行试桩,检验成桩效果及验证相关参数。

②为了穿透回填层,碎石桩施打过程中应采取引孔措施。

③碎石桩设计桩径为0.6 m,正方形布置,间距1.5 m,置换率12.56%,充盈系数取1.3,每延米灌碎石量不小于 $0.396 \text{ m}^3/\text{m}$ 。

④碎石桩施工时,相邻桩应间隔跳跃施工,避免相互间震动影响。

⑤桩体材料为级配好(粒料级配不应采用单级)、强度高的碎石(饱和单轴极限抗压强度不宜低于50 MPa),最大粒径不应大于50 mm,含泥量不得大于5%。

4) 质量检测要求。

应对碎石桩桩体连续性及密实度进行检测,检测采用重型动力触探,碎石桩桩体应密实,密实度判断标准为 $N_{63.5} \geq 7$ 。检测数量取总桩数的2%,检

测宜在成桩后10 d左右进行。

3.4 施工方案

3.4.1 施工特点

- 1) 需穿透抛石层进行下卧软土层加固处理。
- 2) 下卧软土层厚度大(平均约24.5 m),碎石桩长度大,成桩难度大。

3.4.2 施工工艺流程

布置桩位→冲孔机就位→抛石层引孔→碎石桩机就位→成孔→填料成桩→检验→关机移位。

3.4.3 引孔设备选择及技术要点

由于表层的抛石较为松散,成孔难度不大,引孔设备选用常规的冲孔灌注桩机。施工时先采用粒径小于200 mm的小块石回填平整场地后,采用冲孔灌注桩机冲击成孔,并采用钢护筒及泥浆护壁。

3.4.4 碎石桩设备选择及质量控制

1) 施工设备选择。

常用的碎石桩成桩方法有振动成桩法和锤击成桩法,本工程淤泥强度低,选用振动成桩法。振动成桩的设备主要由振动沉拔桩机、下端装有活瓣桩靴的桩管和加料设备组成,主要施工顺序如下:

- ①振动沉管至设计底高程;
- ②首次加料时,向管内一次性加满骨料;
- ③通过试成桩确定提升速度、每次提升高度、留振时间和反插深度,进行振动提管和反插;
- ④补充加料,保持地面以下管内填料充实,最终使桩身骨料高出地面0.3~0.5 m。

2) 施工质量控制。

①桩身的连续性。

应通过适当的拔管速度、拔管高度和压管高度来控制成桩的连续性,拔管速度太快,碎石料不易排出,拔管高度较大而压管高度较小时,都容易造成桩身投料不连续。

②桩的直径。

利用拔管速度和下压桩管的高度进行控制。拔管时使碎石充分排出,压管高度较大时形成的桩径也较大。

③桩体密实度。

桩体的密实度，除了受压管高度大小影响外，还与桩管的留振时间有关，留振时间长则桩身密实度大。

④成桩顺序。

在成桩过程中，由于振动力和侧向挤压力的作用，对软土层扰动大，施工时应采取隔行跳打的施工顺序。

3.5 设计及施工关键技术

1) 成桩关键技术。本工程的淤泥不排水抗剪强度低，且淤泥层厚度大、成桩难度大，超过了碎石桩通常适用的范围。设计结合水文、地形及地质情况，先回填小块石至 7.0 m 再施打碎石桩，通过上覆荷载增加淤泥层的附加应力，有利于成桩及孔隙水压力消散。

2) 桩身连续性和密实度控制的关键技术。本工程淤泥层平均厚度 24.5 m，碎石桩的平均施打长度约 31.5 m(达到淤泥平均底高程)，如此长度的碎石桩在工程中比较少见，确保桩身的连续性和密实度亦是碎石桩成败的关键技术。若参数选择不当，可能造成成桩效果不理想，应通过试桩验证相关参数，图 5 中检测 1 和检测 2 分别为参数调整不到位和到位的检测结果。

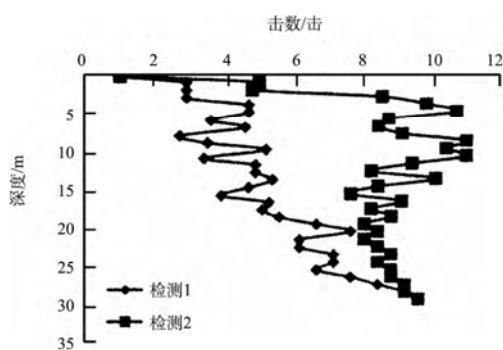


图 5 试桩重型动力触探 $N_{63.5}$ 测试结果

经过试桩调整后的施工参数确定为：沉管的提升速度取 1.0 m/min，每次提升高度取 1.0 m，留振时间取 30~60 s，反插深度取 0.5 m。经过重型动力触探 $N_{63.5}$ 测试，桩身的 $N_{63.5}$ 满足大于 7 击的要求，表明本工程碎石桩的连续性及密实度是

能够保证的。

3) 充盈系数的控制。试桩过程中在连续性及密实度满足要求的情况下，桩身充盈系数只能达到 1.0~1.1，施工方对打桩的桩管端部进行扩大至 0.65 m，并对活页桩靴进行改造，但发现桩身充盈

系数仍为 1.0~1.1。为了确保成桩，上覆荷载增加的附加应力约 100 kPa 及桩身长度达 30 m 的原因导致桩身石料外扩困难，与没有覆盖层情况下的碎石桩相比充盈系数相对较小，经检测在充盈系数为 1.0~1.1 的情况下桩身密实度达到设计要求。

4 结语

1) 引孔结合沉管碎石桩法成功解决了穿透硬土层处理下卧软土层的技术问题。

2) 通过回填形成上覆荷载，增加淤泥层的附加应力，有利于碎石桩成桩及孔隙水压力消散。

3) 在抗剪强度低、淤泥层厚度大的软土地区实施超长碎石桩，采用振动沉管法施工是合适的，该方法有利于桩体的形成及桩身质量的控制。

4) 应通过试成桩确定沉管的提升速度、每次提升高度、留振时间、反插深度等主要技术参数作为施工控制指标。

参考文献：

[1] 福建省交通规划设计院.福州港罗源湾港区可门作业区 1#~3#泊位工程施工图设计文件[R].福建:福建省交通规划设计院,2012.
 [2] 福建岩土工程勘察研究院.福州港罗源湾港区可门作业区 1#~3#泊位岩土工程勘察报告[R].福建:福建岩土工程勘察研究院,2013.
 [3] 龚晓南.地基处理手册[M].3版.北京:中国建筑工业出版社,2008.
 [4] 武汉港湾工程设计研究院.JTJ 246—2004 港口工程碎石桩复合地基设计与施工规程[S].中华人民共和国交通部.北京:人民交通出版社,2004.

(本文编辑 武亚庆)