

固化淤泥结构性力学特性的试验研究

闫高欢

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300450

[摘要] 以完全扰动重塑的泥浆作为评价基准, 从土结构性的角度考察了水泥固化淤泥的力学特性, 发现固化淤泥是一种典型的结构性土, 存在明显的固结屈服应力, 屈服前后固化淤泥的力学性质显著不同。固化淤泥的压缩曲线位于淤泥的固有压缩曲线的上方, 屈服之前固化淤泥的压缩性很小, 屈服后压缩性迅速增大。水泥添加量越高, 固化淤泥的固结屈服应力越大。固结不排水剪切试验中, 若固化淤泥未在固结围压下屈服, 剪切时表现出超固结土的性质, 若在围压下屈服, 固化淤泥则表现出正常固结土的性质。屈服之前, 固化淤泥的不排水强度基本不随围压改变, 屈服后的强度随围压线性增大。水泥的加入会使黏聚力和内摩擦角都增大, 屈服前阶段固化淤泥的强度由胶结作用所控制, 屈服后阶段由组构作用所控制。在固化淤泥的实际工程应用中, 应考虑到它所特有的结构性力学特性。

[关键词] 固化淤泥; 结构性; 屈服应力; 不排水强度; 胶结; 组构

DOI: 10.33142/sca.v2i8.1210

中图分类号: TU41;X703

文献标识码: A

Experimental Study on Structural Mechanical Properties of Solidified Sludge

YAN Gaohuan

PowerChina Harbour Co.,Ltd., Tianjin, 300450, China

Abstract: Based on the completely disturbed and remolded mud, the mechanical properties of cement solidified sludge are studied from the perspective of soil structure. It is found that the solidified sludge is a typical structural soil with obvious consolidation yield stress, and the mechanical properties of the solidified sludge are significantly different before and after yielding. The compression curve of solidified sludge is located above the inherent compression curve of sludge. The compressibility of solidified sludge before yielding is very small, and the compressibility increases rapidly after yielding. The more cement is added, the greater the consolidation yield stress of the solidified sludge is. In the consolidated undrained shear test, if the solidified sludge does not yield under the confining pressure, it exhibits the properties of overconsolidated soil when sheared. If it yields under confining pressure, the solidified sludge will show the properties of normal consolidated soil. Before yielding, the undrained strength of solidified sludge basically does not change with the confining pressure, and the strength after yielding increases linearly with the confining pressure. The cohesion and internal friction angle increase with the addition of cement. The strength of solidified sludge is controlled by cementation before yield and by fabric after yield. In the practical engineering application of solidified sludge, its unique structural mechanical properties should be considered.

Keywords: solidified sludge; property of the structure; yield stress; undrained strength; cementation; fabric

1 工程概况

1.1 工程简介

威海市双岛湾科技城建设水运设计工程(羊亭河段)位于双岛湾南侧海岸,与十、十一标段隔海相望,岸线轴线总长为2135.3m。岸线共分三部分:游船码头及过渡段、斜坡护岸段及直立护岸段,其中游船码头及过渡段95.9m,斜坡护岸段1542.8m,直立护岸段496.6m,采用淤泥固化技术及排水板+强夯方式对表层松散砂层和深层软弱土层进行地基处理。

淤泥固化项目总工程量约为59240m³。本项目根据威海市双岛湾科技城建设水运设计工程(羊亭河段)设计施工图进行施工。海堤现状涂面高程为0.7~0.8m,具备旱地施工条件,但浅滩基础地基承载力低,常规设备不能直接在其上进行施工作业,本工程淤泥固化桩拟采用螺旋式淤泥固化机施工,该设备具有海涂面行走功能。

根据可研地勘野外钻孔地质编录,结合室内土工试验资料整理分析,主要岩土层按勘探深度范围内的岩土层划分为5个大层,9个亚层,各土层分述详见表1:

表1 威海市双岛湾科技城建设水运设计工程(羊亭河段)地基土层划分表

层号	土层名称	层顶标高(m)	土层厚度(m)	分布范围
1	素填土	-2.47~-1.33m	3.7~4.5m	分布不连续,仅S1和S23~S25钻孔中揭露
2-1	细中砂	-0.93~-7.26m	0.6~6.3m	分布较连续,仅在S7、S34、S35、S37和S41钻孔中缺失
3-1	淤泥	-10.99~-4.05m	0.9~7.5m	分布较连续,仅在S1、S2、S16、S40和S42钻孔中缺失

续表

层号	土层名称	层顶标高(m)	土层厚度(m)	分布范围
3-2	淤泥质粘土	-10.17~-5.03m	0.4~4.5m	分布不连续, 局部分布
3-3	淤泥质粉质粘土	-11.97~-4.16m	0.7~3.7m	分布不连续, 局部分布
4	粉质粘土	-17.17~-10.40m	0.5~5.9m	分布较连续, 仅在 S38~S42 钻孔中缺失
5	细中砂	-20.24~-12.95m	0.5~7.3m	分布较连续, 仅在 S4、S13、S38~S42 钻孔中缺失
6	粉质粘土	-24.27~-14.67m	0.7~5.4m	分布较连续, 在 S10 和 S34~S42 钻孔中缺失
7	中粗砂		0.8~8.7m	布较连续, 仅在 S17 及 S38~S42 钻孔中缺失
7-1	砾砂		0.9~8.7m	分布不连续, 仅在 S3~S9、S24、S32、S34 和 S35 钻孔中揭露
8	全风化片麻岩		1.3~3.3m	仅在 S14、S16、S34 和 S41 钻孔中出露
9	强风化片麻岩	-37.07~-3.39m		局部分布

1.2 工作内容及工程量

本工程岸线共 2135.3m, 地基处理分为 A、B 及 C 三个区。本次工程固化区域主要包括 A 区(固化区域一~四), B 区(固化区域五)以及 C 区(固化区域六), 具体处理要求、范围如下:

(1) A 区固化区域一, 采用 $\phi 1000$ 双轴固化桩, 置换率约 39.7%, 桩顶高程为 -0.98m, 处理至岩基, 其中空搅深度为 1.68m, 实搅深度为 3.7m, 处理长度为 K0+000.0m~K0+240.0m, 设计要求固化桩的 28 天龄期的无侧限抗压强度 1MPa; 复合地基承载力 200kPa。空搅工程量约 4312m³, 实搅工程量约 9497m³。

(2) A 区固化区域二, 采用 $\phi 1000$ 双轴固化桩, 置换率约 39.27%, 桩顶高程为 -0.61m, 桩底高程为 -10.31m, 其中空搅深度为 1.31m, 实搅深度为 9.7m, 处理长度为 K0+313.7m~K0+416.0m, 设计要求固化桩的 28 天龄期的无侧限抗压强度 1MPa; 复合地基承载力 200kPa。空搅工程量约 862m³, 实搅工程量约 6384m³。

(3) A 区固化区域三, 采用 $\phi 1000$ 双轴固化桩, 置换率约 39.27%, 桩顶高程为 -1.31m, 桩底高程为 -11.00m, 其中空搅深度为 2.01m, 实搅深度为 9.69m, 处理长度为 K0+539.9m~K0+620.1m, 设计要求固化桩的 28 天龄期的无侧限抗压强度 1MPa; 复合地基承载力 200kPa。空搅工程量约 1010m³, 实搅工程量约 4871m³。

(4) A 区固化区域四, 采用 $\phi 1000$ 双轴固化桩, 置换率约 39.27%, 桩顶高程为 -0.78m, 桩底高程为 -12.00m, 其中空搅深度为 1.48m, 实搅深度为 11.22m, 处理长度为 K0+676.0m~K0+771.9m, 设计要求固化桩的 28 天龄期的无侧限抗压强度 1MPa; 复合地基承载力 200kPa。空搅工程量约 1058m³, 实搅工程量约 8019m³。

(5) B 区固化区域五, 采用 $\phi 1000$ 双轴固化桩, 置换率约 39.27%, 桩顶高程为 -1.08m, 桩底高程为 -11.00m, 其中空搅深度为 1.78m, 实搅深度为 9.92m, 处理长度为 K1+091.3m~K1+190.8m, 设计要求固化桩的 28 天龄期的无侧限抗压强度 1MPa; 复合地基承载力 200kPa。空搅工程量约 1392m³, 实搅工程量约 7760m³。

(6) C 区固化区域六, 采用 $\phi 1000$ 双轴固化桩, 置换率约 39.27%, 桩顶高程为 0.50m, 桩底高程为 -10.00m, 其中空搅深度为 0.2m, 实搅深度为 10.5m, 处理长度为 K1+587.5m~K1+696.0m, 设计要求固化桩的 28 天龄期的无侧限抗压强度 1MPa; 复合地基承载力 200kPa。空搅工程量约 153m³, 实搅工程量约 8016m³。

A 区域空搅总工程量约: 7242m³; A 区域实搅总工程量约: 28771m³。

B 区域空搅总工程量约: 1392m³; B 区域实搅总工程量约: 7760m³。

C 区域空搅总工程量约: 153m³; C 区域实搅总工程量约: 8016m³。

空搅总工程量约: 7242+1392+153=8787m³

实搅总工程量约: 28771+7760+8016=44547m³

总工程量约: 8787+44547=53334m³

2 试验材料与试验方法

2.1 试验材料

淤泥取自威海市双岛湾科技城建设水运设计工程, 试验用淤泥的基本物理性质见表 1。颗分试验结果表明淤泥黏粒含量为 47%, 粉粒含量 52.7%。淤泥的液限含水率为 76.5%, 塑性指数为 46.5, 根据土的分类标准, 该土属于高液限黏土(CH)。固化材料采用 32.5#普通硅酸盐水泥。

2.2 试验方法

为了研究不同材料添加量下固化淤泥的结构特性, 设定 3 个不同水泥添加量, 水泥添加量按每立方米淤泥中加入的材料质量计, 分别取为 100kg/m³、150kg/m³、200kg/m³。固化淤泥的养护龄期都取为 7 天。

表 2 试验用淤泥物理性质指标

含水率/%	密度/(g/cm ³)	比重	黏粒含量/%	液限/%	塑限/%	有机质/%
98	1.48	2.65	47	76.5	30	0.4

按设定配比先对淤泥和水泥称量之后,在搅拌机内搅拌 10 分钟,使其混合均匀。然后把固化淤泥充填装入直径为 3.91cm 高度为 8.0cm 的不锈钢模具中作为三轴压缩试验试样使用;装入 6.18cm×2.0cm 的钢制环刀内,作为单向压缩试验试样。装入的过程中不断振动模具,以排出气泡使固化土密实。制好后的试样放入聚乙烯塑料袋中,并放入温度为 20±2℃,湿度>90%的恒温恒湿养护箱中,到 7 天龄期时进行试验三轴固结不排水试验和单向压缩试验。为了将固化淤泥的性质与未处理淤泥的力学性质进行比较,以揭示出结构性的影响,也制备了相应的重塑试样。首先将淤泥完全扰动重塑,然后在大直径固结设备中逐级施加至 25kPa 的固结压力后使淤泥形成具有一定强度的重塑土。然后用削样器小心削制成和上述尺寸一样的重塑土试样进行试验,并取削下的余土进行含水率试验,测得固结完成后重塑土样的含水率为 65%。本文中的试验都按照中华人民共和国国标 GB/T50123-1999 进行试验[19]。单向压缩试验荷载率取为 1,即依次取 12.5、25、50、100、200、400、800、1600、3200kPa。CU 三轴试验压缩速率为 0.073mm/min,每组设定 6~8 个不同围压 σ_c ,围压大小根据试样强度不同依次取为 25、50、100、200、400、600、800、1000kPa。试样的饱和和采用抽气真空饱和的方法,并在装样时检查孔压系数 B,大于 97%时认为试样已经饱和。

3 施工前期准备

3.1 设备的调运和安装

本次工程需要二台固化机和其他配套设备,需要根据公司目前的设备调度,与项目部沟通后可以确定设备进场的路线。拟需要平板车 4 辆,槽罐运输 4 辆,装车吊机 7 天,吊机安装 7 天。

3.2 槽罐基础处理

现场采用散装原材料进行固化剂配制,槽罐数量为 3 个,槽罐布置区域土质较松软,需 30cm 土层置换,且需浇筑 30cm 厚度混凝土平台进行槽罐基础处理,根据布置情况需进行 2 个槽罐基础处理。

3.3 生活设施配置

在施工区域考察发现,拥有比较平整的地面,且有外接电力箱和自来水管道路,可以解决生活中的用电用水问题。下面根据人员和施工环境进行生活设施配置,如下表所示:

表 3 生活设施清单

序号	设备名称	单位	数量	主要用途	备注
1	集装箱	间	9	4 个宿舍, 1 个办公室, 2 个食堂, 1 个卫生间, 1 个仓库	租用
2	床铺	套	20		租用
3	空调	台	5		采购
4	厨房用具	批	1		采购
5	发电机	台	1	供浆系统备用	采购
6	淡水设施	套	2	存储淡水装置	
7	交通车辆	辆	1		
8	其他生活设施	批	1		采购

4 施工方法和工艺

4.1 室内试验

根据宁海三山涂、奉化阳光海湾、台州吹填区固化等项目提供淤泥所进行的室内试验效果来看,1.0MPa 的强度固化剂添加量控制范围在 12%以上,现采用不同配比的固化剂对现状淤泥进行室内配合比试验,具体试验参数设计如下表 4 所示:

表 4 配比研究

序号	材料名称	原样土 (kg)	掺入量 (%)	固化剂用量 (kg)	水灰比	浆液用量
1	固化剂	10	10%	1	0.7	1.7
2		10	12%	1.2		2.04
3		10	14%	1.4		2.38

根据《水下深层水泥搅拌法加固软土地基技术规程》规定,现场无侧限抗压强度按室内无侧限抗压强度的 0.6 倍换算,通过室内实验实施,按 JGJ/T 233-2011 中附录 B 的 B.2 检测室内 28 天无侧限抗压强度,根据室内 28 天无侧限抗压强度乘以 0.6 折减系数得出换算强度,根据换算强度以及设计要求,确定固化桩(代替水泥搅拌桩)的固化剂配比与掺入量 N。

4.2 试桩试验

为保证施工质量,在具体施工之前需要进行现场淤泥固化设备工艺性试桩,现场试桩的固化剂配比及掺入量由室内试验确定,固化剂掺入量暂定 12%。试桩完成后将通过现场取样试验来检验出合格的指标数据。

试桩区域位于 A 区（固化区域四 K0+671.0m~K0+686.0m），处理深度为 12.7m，其中空搅深度为 1.48m，实搅深度为 11.22m，详见布置见设计图纸。

试桩完成后，需要对试桩进行抽样检查，抽样检测时间分别定为 7 天、28 天。每次随机抽样取一根桩，进行取芯检测。由于本工程工期在即，可参考室内试验数据根据《建筑地基处理技术规范》 $q_{u7} = (0.47 \sim 0.63) q_{u28}$ 进行换算，确定最佳施工工艺。

4.3 施工区域布置

根据项目划分安排，把固化区域划分为 A、B 及 C 区，施工顺序为 A 区（固化区域一、四）→A 区（固化区域二、三）→B 区（固化区域五）、C 区（固化区域六）。

固化区域一，根据设计要求利用 $\phi 1000$ 双轴搅拌桩从原涂面高程处理至岩基，其中空搅深度为 1.68m，实搅深度为 3.7m，处理宽度为 25m、31m 或 35m，处理长度为 K0+000.0m~K0+240.0m，，桩位布置如下图所示：

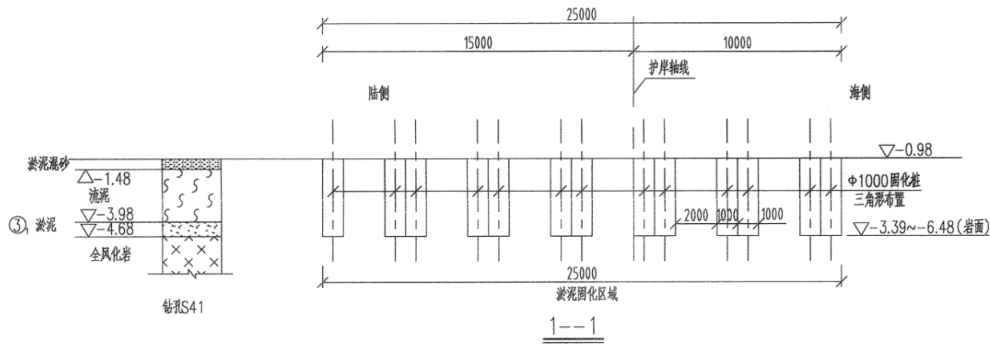


图 1 固化区域一地基处理断面图一

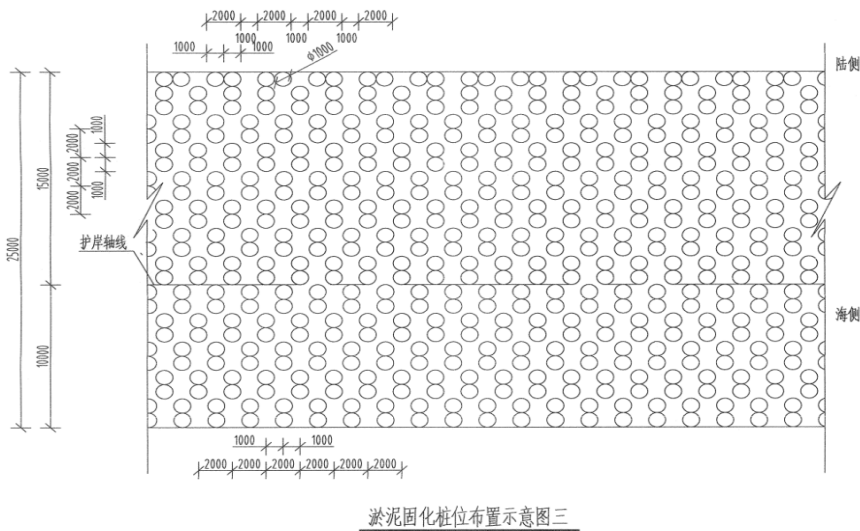


图 2 固化区域一地基处理断面图一桩位布置图

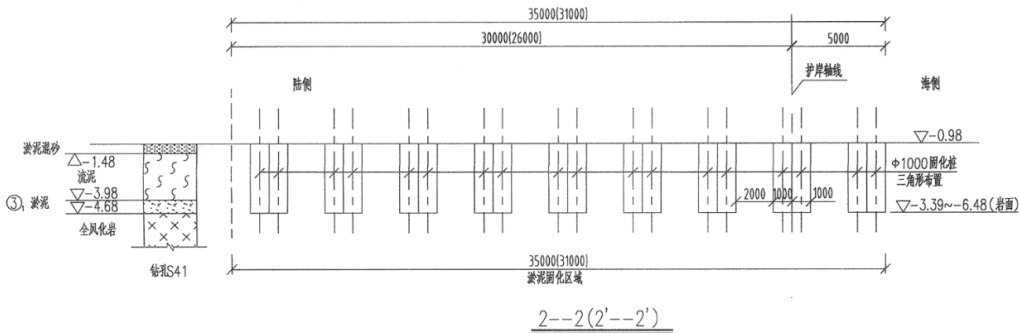
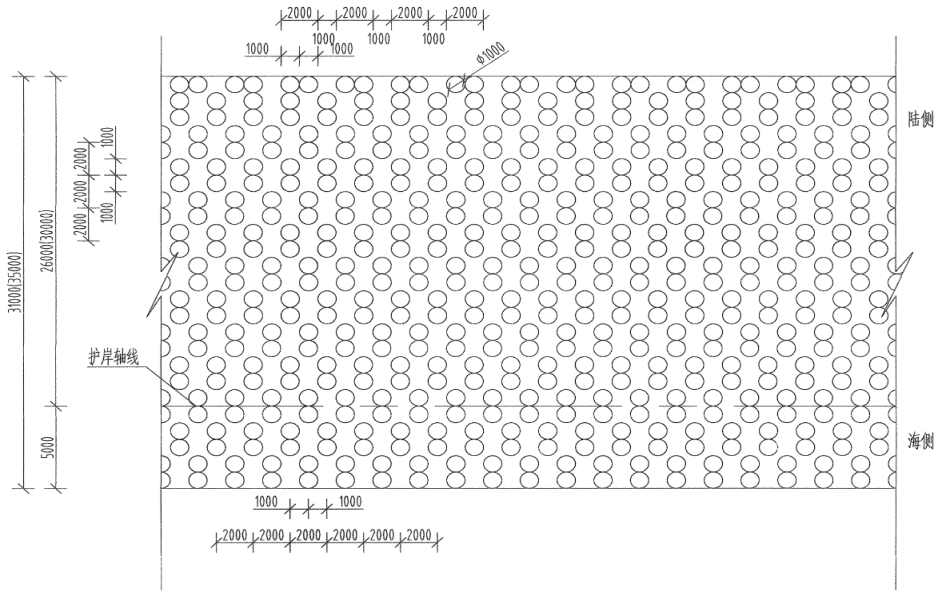


图 3 固化区域一地基处理断面图二



淤泥固化桩位布置示意图二

图4 固化区域一地基处理断面图二桩位布置图

固化区域二，根据设计要求利用 $\phi 1000$ 双轴搅拌桩从原涂面高程处理至 -10.31 ，空搅深度为 1.31m ，实搅深度为 9.7m ，处理宽度 18m ，处理长度为 $\text{K}0+313.7\text{m} \sim \text{K}0+416.0\text{m}$ ，桩位布置如下图所示：

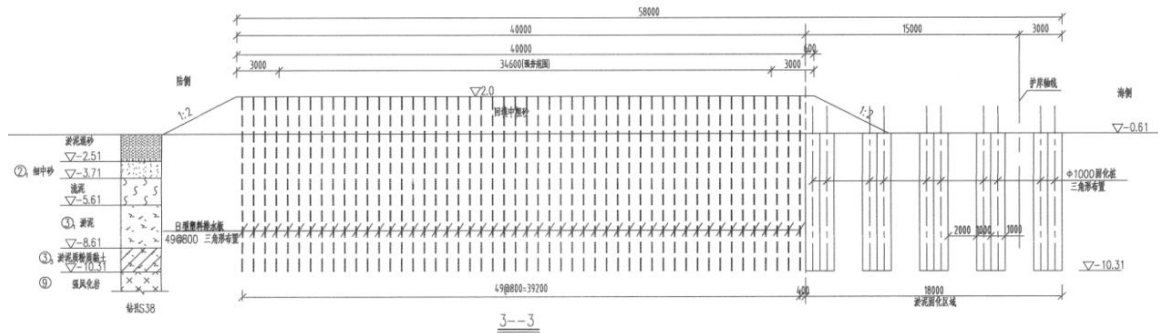
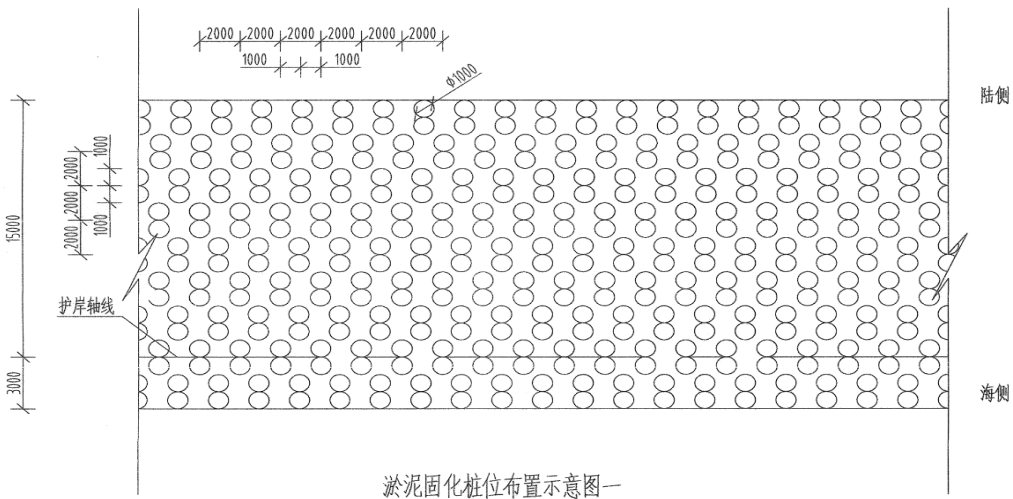


图5 固化区域二地基处理断面图



淤泥固化桩位布置示意图一

图6 固化区域二桩位布置图

固化区域三，根据设计要求利用 $\phi 1000$ 双轴搅拌桩从原涂面高程处理至 -11.00m ，其中空搅深度为 2.01m ，实搅深度为 9.69m ，处理宽度 18m ，处理长度为 $\text{K}0+539.9\text{m}\sim\text{K}0+620.1\text{m}$ ，桩位布置如下图所示：

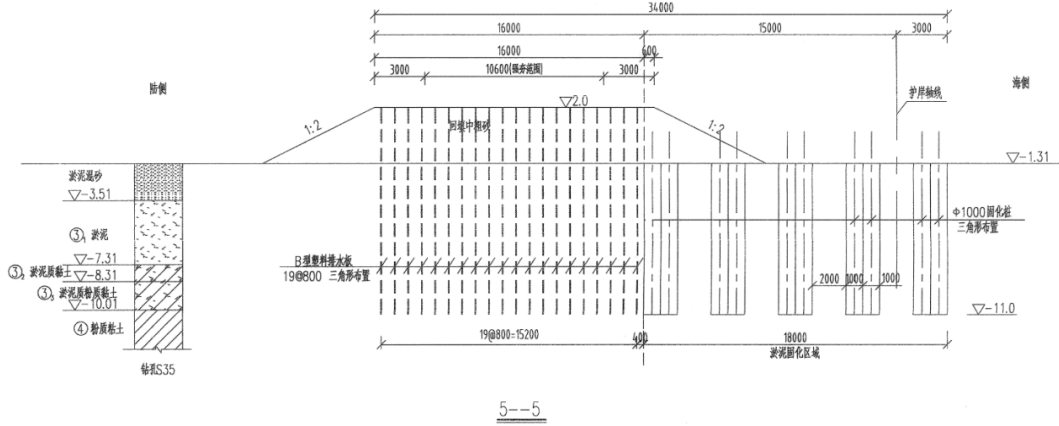


图 7 固化区域三地基处理断面图

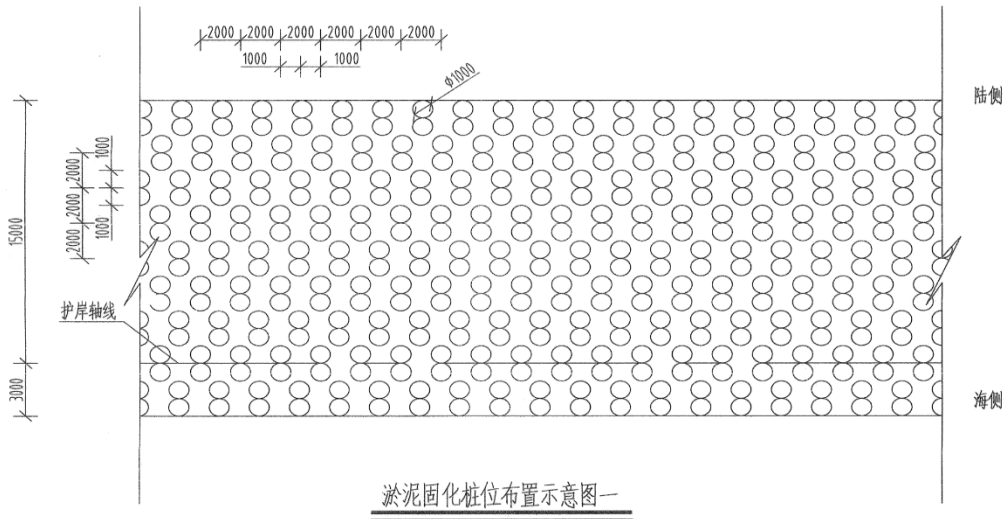


图 8 固化区域三桩位布置图

固化区域四，根据设计要求利用 $\phi 1000$ 双轴搅拌桩从原涂面高程处理至 -12.00m ，其中空搅深度为 1.48m ，实搅深度为 11.22m ，处理宽度为 18m ，处理长度为 $\text{K}0+676.0\text{m}\sim\text{K}0+771.9\text{m}$ ，桩位布置如下图所示：

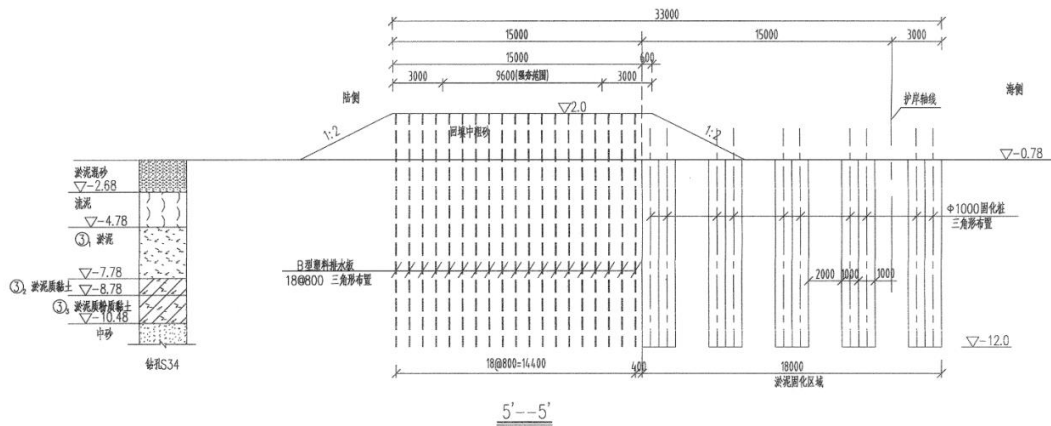
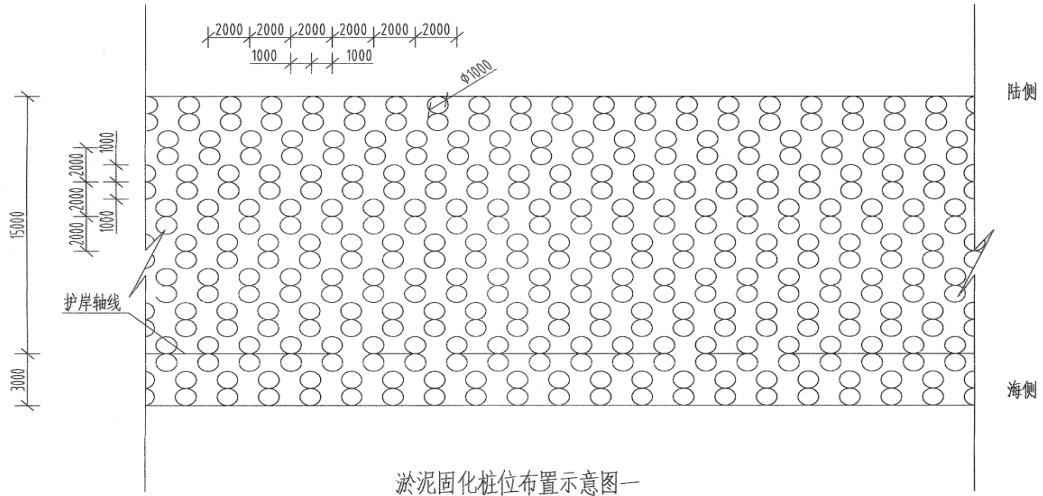


图 9 固化区域四地基处理断面图



淤泥固化桩位布置示意图一

图 10 固化区域四桩位布置图

固化区域五，根据设计要求利用 $\phi 1000$ 双轴搅拌桩从原涂面高程处理至 -11.00m ，其中空搅深度为 1.78m ，实搅深度为 9.92m ，处理宽度 $24.5、18\text{m}$ ，处理长度为 $\text{K1}+091.3\text{m} \sim \text{K1}+190.8\text{m}$ ，桩位布置如下图所示：

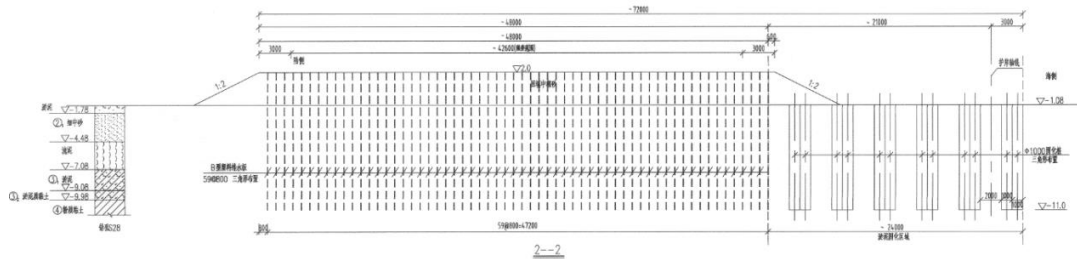
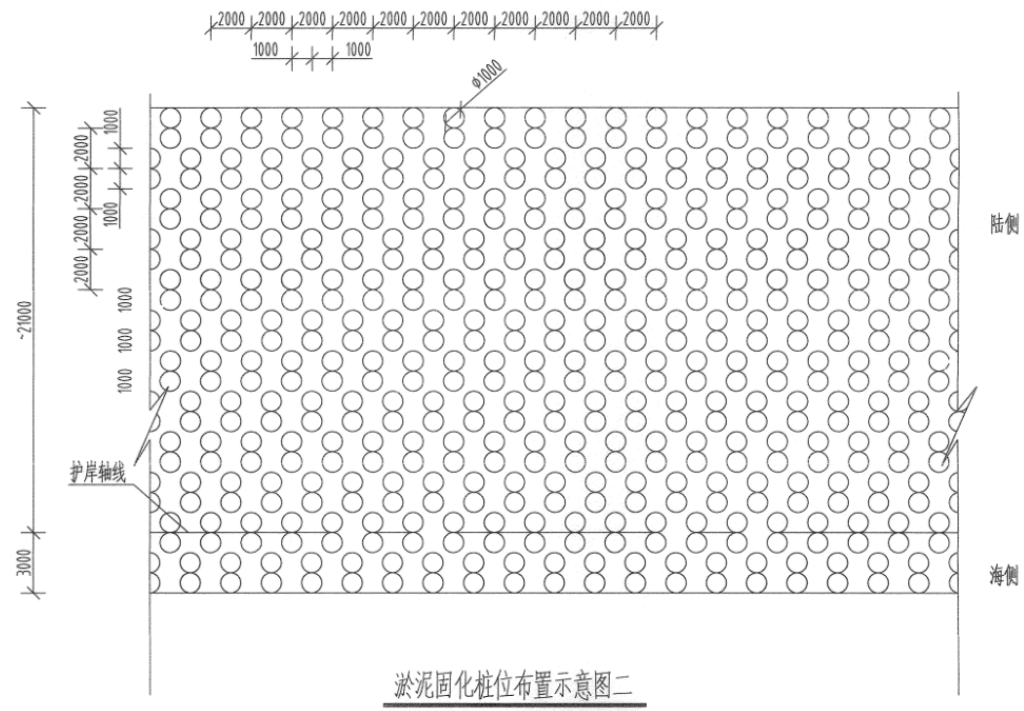


图 11 固化区域五地基处理断面图



淤泥固化桩位布置示意图二

图 12 固化区域五桩位布置图

固化区域六，根据设计要求利用 $\phi 1000$ 双轴搅拌桩从原涂面高程处理至 -10.00m ，其中空搅深度为 0.2m ，实搅深度为 10.5m ，处理宽度为 18m ，处理长度为 $\text{K1}+587.5\text{m}\sim\text{K1}+696.0\text{m}$ ，桩位布置如下图所示：

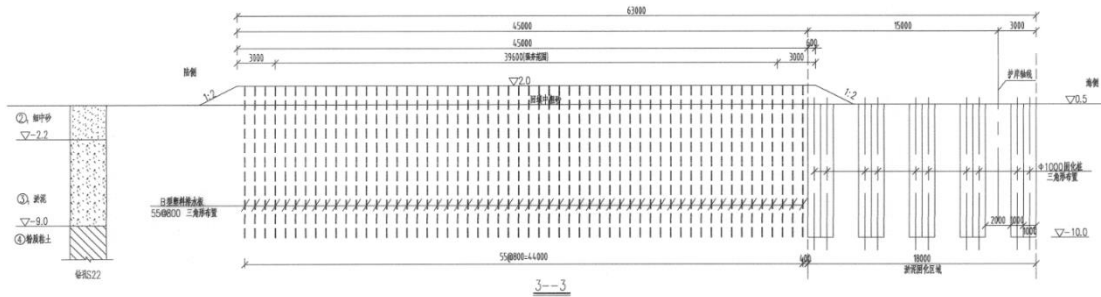


图 13 固化区域六地基处理断面图

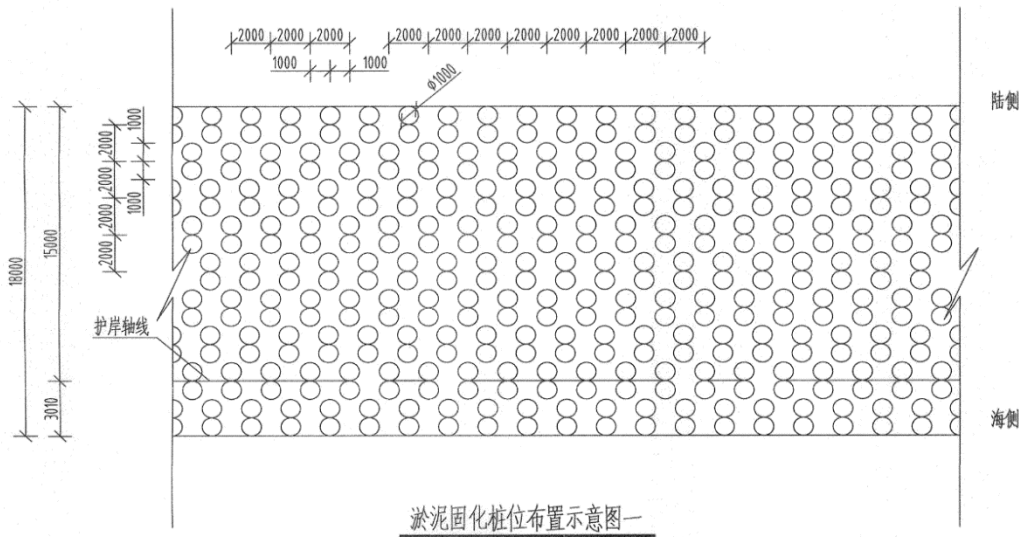


图 14 固化区域六桩位布置图

5 施工前的准备

5.1 设备调试及供浆试验

设备吊机组装完毕后，需要对设备进行调试，测试其是否正常工作，是否在新的施工环境存在安全问题，设备调试根据设计的下钻、提升速度与搅拌回转速度，通过液压分流阀调试各液压马达进行淤泥固化机各参数设定；

供浆试验根据设计供浆流量及供浆压力，通过泥浆泵电机的变频器调试进行供浆量设定；根据设定的供浆压力及供浆流量进行供浆试喷，保证喷浆压力能达到设计深度和成桩半径，确保固化剂输送畅通。

5.2 搅拌装置的调试

(1) 拌料装置试验

拌料装置要求放置在且平整的位置，槽罐与拌料桶的搭接完成后需要供电对拌料系统进行试验，保证各个开关，元件都能正常工作。

(2) 固化剂配制

固化剂搅拌采用现场配制，固化剂母料采用散装水泥储存罐，其它辅料与精料采用袋装现场存储。根据配方配制每立方各原材料用量，根据配合比称重计量，母料利用螺旋输送机输送至搅拌仓，利用搅拌仓的计量称进行计量；辅助材料与精料以人工称重计量入拌料仓。

(3) 固化剂浆剂配制

严格按照使用设计水灰比进行配制，利用料位线和计量称控制加水量；固化剂、水配料完成后开始搅拌，搅拌完成后开启输送阀门，固化剂浆剂流入存料罐。

6 施工工艺

6.1 施工设备

淤泥固化工程主要采用本公司自主研发的螺旋淤泥固化机，实现固化设备可直接在淤泥软基施工，不受施工条件

限制，不需临建设施。同时施工材料以废治废，节能减排，避免对淤泥进行开挖换填，其工作示意图如下所示：

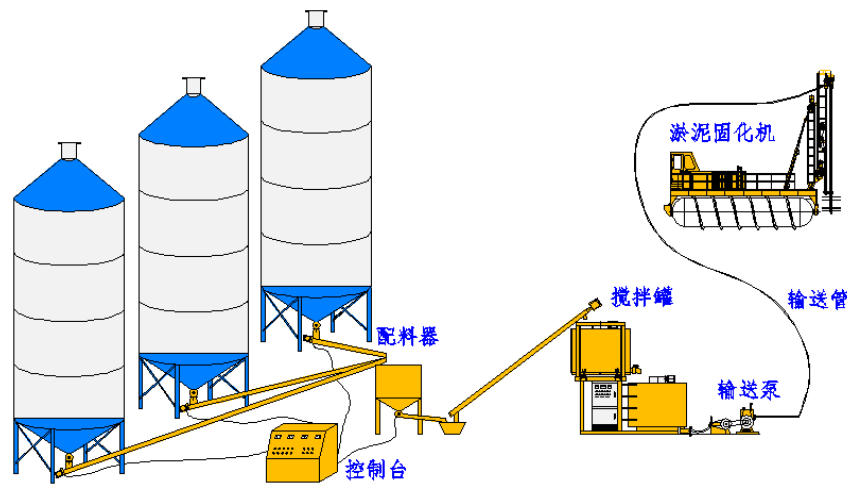


图 15 淤泥固化施工示意图

6.2 施工工艺流程

(1) 设备定位：按设计施工图放样，确定相应施工区位、机位，控制施工边线，施工边线以插彩旗作为标记，桩位中心以插竹竿作为标记，搅拌头对准相应桩位中心。

(2) 下钻喷浆搅拌：启动搅拌马达与升降马达，搅拌头沿着导向架向下钻，边喷浆、边搅拌，严格控制下钻速度与喷浆流量。随时观察设备运行及地层变化情况，搅拌头下钻至设计深度位置时，开始提升。

(3) 提升喷浆搅拌：搅拌下钻至设计深度，定喷完成后，提升复喷复搅，边喷浆、边搅拌，严格控制提升速度，保证固化剂浆液与土体充分拌和；最后，上升至工作基准面停止喷浆。

(4) 复搅：为确保淤泥土层与固化剂材料搅拌均匀，进行二次搅拌喷浆，即下钻搅拌喷浆与提升搅拌不喷浆。

(5) 移位：根据施工顺序移至进行下一桩位，重复以步骤进行施工；若固化机一次定位多次作业时，搅拌杆在桩架上横移至其根据桩间距设定的刻度点；或固化机移至下一工作机位。

7 质量控制

7.1 原材料控制

(1) 对各原材料做好入库登记，保证其供应的持续性以及使用的有效性，对来料进行记录统计；

(2) 按规范要求及时做好原材料送检，并做好台账。

7.2 固化浆液配制与输送

(1) 固化剂的配置时需先放水再放料，根据计量称读数严格控制固化剂各成分重量，保证固化剂配比。

(2) 严格按照掺量控制水灰比，固化浆剂配置后需不间断搅拌，保证浆液材料均匀且不沉淀；输送过程必须连续，间隔时间不大于 5 分钟，大于 5 分钟需喷浆疏通，大于 20 分钟需用清水冲洗。

(3) 施工前，必须根据供浆量调节各供浆泵的供浆流量；施工时，不断监控供浆流量，若发生异常情况，立即通知固化机操作者，进行设备及管道检查，保证设备正常和管道畅通后才可重新施工。

(4) 高压供浆泵系统操作人员应严格按照调试后输送电机频率进行操作控制，保证输送浆液稳定性与持续性。

7.3 固化施工

(1) 施工前，严格按设计施工图放样，划分桩位作业编码，编码由区位、机位、桩位组成；确保可根据施工记录表能找到相应施工区位、机位、桩位。施工过程中做好施工记录，现场施工人员认真填写施工原始记录，记录内容应包括施工位置、固化深度、施工时间，抽检下钻与提升速度、灌浆流量，统计每天固化剂用量与固化方量等。

每个机位施工完成后需做好相应标记，每个台班完成后做好相应标记。

(2) 严格控制搅拌杆定位垂直准确度。

(3) 开机作业前，必须检查机械各部件行走系统与机上各液压马达工作压力情况；开钻前，根据施工设计确保固化机定位准确。

(4) 严格控制固化剂掺和量，施工时，应严格按照设定喷浆嘴孔径大小、泥浆泵电机频率及其开启时间和停止时间，以保证淤泥固化掺和量；上升至工作基准面后应立即停止，防止固化剂流失。

(5) 搅拌均匀度控制：严格控制搅拌时的下钻、提升速度及搅拌次数，必须保证土体与固化剂的搅拌次数达到 20 次以上，以确保加固范围内土体与固化剂得以充分搅拌。

(6) 每次搅拌应连续作业，不得中断喷浆，如机械故障影响喷浆或搅拌次数，必须重新加固施工。

(7) 施工过程中, 如因地下障碍物等原因使搅拌器无法正常施工时, 应及时记录该点位置, 按不触碰到障碍物为底高程喷浆。

7.4 取芯检测

根据 GB 50202-2002《建筑地基基础工程施工质量验收规范》, 对水泥土搅拌桩复合地基和单桩强度检验时, 取芯检测的数量为总数的 0.5%, 且不少于 3 根。

8 安全措施

为加强施工安全管理, 严格遵守《安全生产法》等相关安全生产的法律法规和公司规章制度, 坚持“安全第一, 预防为主, 综合治理”的安全生产方针, 按照“管生产必须同时管安全, 谁主管, 谁负责”的原则逐级落实安全生产责任制, 特制订以下安全措施:

- (1) 严格执行公司的安全规范, 每位上岗职工都必须经过安规考试, 施工人员必须经体检合格后方可上岗。
- (2) 进入施工现场必须戴好安全帽, 穿上救生衣, 严禁酒后操作和施工。
- (3) 固化剂配制人员应戴好口罩、披肩帽、风镜、穿保温工作服, 衣领、袖口、裤脚应扎紧, 着装符合规范要求。
- (4) 固化剂按工作所需量运送到现场, 并有序堆放在设有防雨、防潮、防损坏、不影响他人正常施工的场所。
- (5) 电动设备使用前应先检查导线及机械运转的完好情况, 各种电动工具应配有触电保护装置。机械运转情况异常时, 及时由专业人员进行维修保养。
- (6) 专用机械设备应定人操作, 必须持有上岗证上岗作业, 并定期参加证件审验。
- (7) 启用搅拌设备前, 必须认真检查索具及连接部位的情况, 若发现问题, 及时处理。
- (8) 夜间或容器内施工应有足够的照明和必要的安全措施, 施工结束后切断所有的电动工具、照明电源, 并经检查确认安全后方可离开。

9 结论

(1) 当用完全扰动重塑的淤泥作为评价基准研究固化淤泥的力学性质时, 发现固化淤泥具有典型的结构性土的特征, 存在明显的固结屈服应力, 力学特征以是否屈服为界, 屈服前后显著不同。

(2) 固化淤泥的压缩曲线位于固有压缩曲线的上方。屈服之前固化淤泥的压缩性很小, 屈服之后压缩性显著增大, 并趋向于固有压缩线。水泥添加量越高, 固化淤泥的固结屈服应力越大, 说明其结构性越强。

(3) 屈服之前固化淤泥表现出类似超固结土的性质, 剪切时为破坏应变很大的柔性破坏, 并有剪胀的趋势。屈服之后固化淤泥又表现出正常固结土的性质, 剪切时为脆性破坏, 并有剪缩的趋势。

(4) 固化淤泥的不排水强度和固结围压的关系由双直线段组成, 并位于淤泥的强度线的上方。屈服之前固化淤泥的强度包络线基本呈水平, 此时固化淤泥的强度来源于胶结结构性所产生的抗力。屈服之后固化淤泥的不排水强度随固结围压线性增大。

(5) 固化淤泥的结构性来源于加入水泥所产生的强胶结作用。水泥的加入不但大幅提升黏聚力, 同时也使得摩擦角增大。固化淤泥屈服前后的抗剪强度分别由胶结作用和组构作用所控制。

[参考文献]

[1] 黄英豪, 朱伟. 固化淤泥压缩特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2012(10): 2923-2928.

[2] 丁建文, 吴学春, 李辉. 疏浚淤泥固化土的压缩特性与结构屈服应力[J]. 工程地质学报, 2012(4).

[3] 何清举. 纤维加筋固化淤泥力学特性影响研究[J]. 能源与环保, 2018(1).

作者简介: 闫高欢 (1982.3-), 男, 汉族, 河南滑县人, 2002年7月毕业于河南省郑州水利学校水利水电工程专业。大学学历, 工程师职称, 注册一级建造师(建筑工程)。