



超软土地基浅层真空预压加固新技术 现场试验及应用

宋俊强, 唐 研, 李 凌

(中交天航港湾建设工程有限公司, 天津 300450)

摘要: 对于新近吹填淤泥形成的超软土地基, 常规浅层软基处理后表层形成的硬壳层承载力有限, 还需吹填 80 ~ 100 cm 的粉砂作为满足后续机械插板施工的持力层。依托天津南港工业港区航道、港池挖泥结合吹填造陆工程 (B03 路西侧造陆 3 区) 软基处理工程, 通过试验, 对比分析 3 种浅层超软土加固处理新技术方案, 并对 3 种方案进一步优化组合, 在满足一定承载力的前提下, 达到不吹填或少吹填粉砂的目的。

关键词: 吹填淤泥; 硬壳层; 承载力; 浅层超软土加固

中图分类号: U 655. 54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0179-05

Field test and application analysis of vacuum preloading method for shallow ultra-soft soil reinforcement

SONG Jun-qiang, TANG Yan, LI Ling

(CCCC Tianjin Waterway Dredging Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: For the ultra-soft soil by newly-filled silt, the bearing capacity is limited after treated by the conventional method for the shallow soft soil treatment, and needs to fill powder of 80 to 100 cm thick to serve as the bearing course for the follow-up board plugging construction. Based on Tianjin Nangang Industrial Zone waterway and harbor dredging combined with land reclamation project (B03 road on the west side of reclamation area 3) soft foundation treatment project, we compare 3 schemes for the reinforcement of ultra-soft soil by the experiment and further optimize the schemes, and attain the goal of unnecessary sand filling or less filling.

Keywords: sludge reclamation; hard shell layer; bearing capacity; shallow ultra-soft soil reinforcement

近年来, 港口建设工程中吹填淤泥形成陆域场地已是最为常见的造陆方法。新近吹填的淤泥含水率超过 100%, 孔隙比大于 2.0, 外观呈浮泥-流泥状, 承载力几乎为零, 工程上常称为超软地基。

目前, 面对如此超软土地基, 较常采用浅层抽水固结与深层真空预压联合处理的施工工艺, 即首先通过浅层超软土加固处理, 使其表层形成一层具有一定强度和厚度的硬壳层, 然后再吹填

80 ~ 100 cm 的粉砂作为满足后续机械插板施工要求的持力层, 进而进行深层真空预压的处理。由于目前粉细砂来源越来越紧缺, 而且吹填粉砂施工受天气影响较大, 造成工程造价和工期难以保证。为此, 笔者依托天津南港工业港区航道、港池挖泥结合吹填造陆工程 (B03 路西侧造陆 3 区) 软基处理工程, 针对该工程吹填超软土的工程特性, 提出 3 种浅层超软土加固技术改进方案, 进行现场试验。结合监测检测成果, 对比分析 3 种方案的加固效

收稿日期: 2014-12-12

作者简介: 宋俊强 (1975—), 男, 高级工程师, 从事水运工程项目技术管理工作。

果,指出在应用中尚存在的问题。

1 超软土地基浅层真空预压加固新技术方案

1.1 加固目的

常规方案进行浅层加固处理后,其表层形成的硬壳层强度和承载力有限,还需吹填 80~100 cm 的粉砂才能满足后续机械插板的施工要求。然而通过改进浅层加固技术,使得浅层加固处理后无需吹填或少吹填黑砂也能进行后续机械插板的施工。真空预压加固不再受扰于黑砂,使工期和加固质量都得到有效保证。

1.2 技术方案

针对本工程吹填淤泥的工程特性,在原有常规方案基础上提出 3 种浅层超软土加固技术改进方案。3 种改进方案与原方案共同的基本工艺流程如下:1) 铺设 1 层 200 g/m² 编织布;2) 铺设 1 层 300 g/m² 无纺土工布;3) 人工插设塑料排水板;4) 布设水平排水滤管;5) 铺设 1 层土工格栅;6) 铺设 1 层 200 g/m² 无纺土工布;7) 铺设 2 层密封膜、按 1 200 m²/台布设 7.5 kW 射流泵进行浅层抽真空。3 种改进方案与常规方案不同之处见表 1。

表 1 改进方案与原方案对比					
方案	人工打设排水板	布设滤管	铺设水平排水板	浅层真空预压	吹填粉砂
原设计方案	①板头外露 0.6 m; ②布置方式:正方形; ③打设间距:0.7 m	①布置方式:双排单管; ②滤管间距:1.4 m; ③绑扎连接:半包裹	铺设	正式抽气 时间 30 d	吹填 80 cm 粉砂
方案 1	①板头外露 0.4 m; ②布置方式:正方形中心插芯; ③打设间距:1.0 m	①布置方式:单排单管; ②滤管间距:0.5 m; ③绑扎连接:全包裹	取消	正式抽气 时间 30~40 d	取消
方案 2	①板头外露 0.4 m; ②布置方式:正方形中心插芯; ③打设间距:1.0 m	①布置方式:单排单管; ②滤管间距:0.5 m; ③绑扎连接:全包裹	取消	正式抽气 时间 30~40 d	吹填 20 cm 粉砂
方案 3	①板头外露 0.4 m; ②布置方式:正方形中心插芯; ③打设间距:0.8 m	①布置方式:单排单管; ②滤管间距:0.4 m; ③绑扎连接:全包裹	取消	正式抽气 时间 30~40 d	取消

3 种改进方案采用 2 种排水板间距,通过加密滤管布设,取消或减少黑砂垫层,并在浅层加固过程中对吹填土进行实时监测和检测,确定各方案加固后浅层土体强度。其中 2 种排水板布置方式均为 4 个成正方形布局的主排水板和位于正方形中心的辅排水板;主排水板之间的距离分别为 0.8 m 和 1 m,主排水板与辅排水板之间的距离分别为 0.56 m 和 0.71 m。通过对浅层超软土加固后土质进行分析,对比在相同加固时间下不同排水板间距形成硬壳层的土体强度,从而提出在现场试验土质情况下最佳的排水板间距。

双排单管(图 1)是指相邻两排排水板板头同时与其间 1 根滤管绑扎连接,而单排单管(图 2)则是指每排排水板板头只与其旁 1 根滤

管绑扎。排水板与滤管绑扎连接半包裹和全包裹见图 3、4。



图 1 双排单管

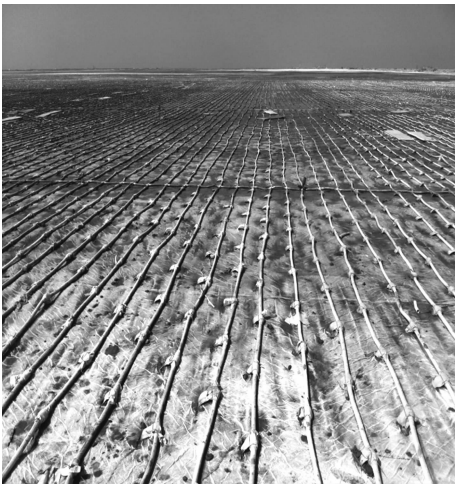


图 2 单排单管

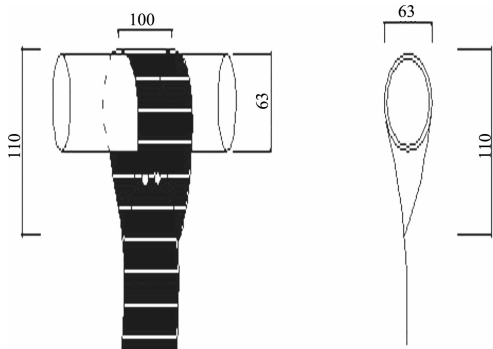


图 3 排水板与滤管“半包裹”连接（单位：mm）

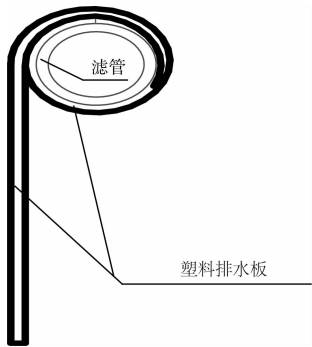


图 4 排水板与滤管“全包裹”连接

1.3 施工质量控制要点

1) 铺设编织布、土工布。铺设编织布和无纺布不仅为后续工序施工的人员提供必要的、有一定安全保障的施工作业面，还可将表层浮泥与塑料排水板头和水平排水管路隔开，对保证排水网路的通透性有利。编织布和土工布铺设前首先用手提缝纫机在现场缝合成整体，接缝要严密，防止泥浆从接缝处冒出。要求相邻两块编织布或无纺布现场缝合搭接宽度分别不小于 10 cm 和 20 cm，且

需采用双排线重叠，用“包缝”缝合连接。铺设过程中应尽量保证铺设平整并及时进行压载，防止其被风掀起或发生位移。

2) 人工插设塑料排水板。施工前，先根据设计打设深度和外露尺寸，将塑料排水板裁剪成短板。然后将一端板头用沥青封口，主要是防止负压抽气过程中将板底的流泥从排水板端头吸入板芯造成排水通道堵塞。同时还需按照设计要求的打板间距进行施工放样，在预插设塑料排水板的位置上进行标识。插板过程中要监督工人将排水板插至预定深度，并检查间距是否满足设计要求，发现间距过大或漏打的情况，要及时进行补打（图 5）。



图 5 人工插板打设

3) 排水板与滤管连接。改进方案采用单排单管的方式将滤管和排水板直接相连。常规方案塑料排水板与滤管“半包裹”相连并用塑料条绑扎。改进后的方案塑料排水板与滤管“全包裹”相连并用自拉锁绑扎（图 6）。通过自拉锁进行“全包裹”绑扎，保证塑料排水板与滤管的紧密结合，有效地减少了真空度由滤管传到排水板时的损失，增强了真空预压的加固效果。

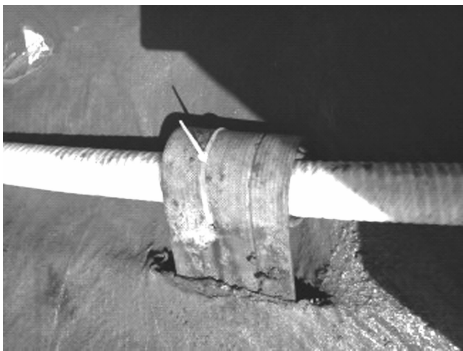


图 6 改进后排水板与滤管连接

4) 抽真空期间开泵率的控制: 抽真空初期要求分 3 批循环开启真空泵, 每批只开启 1/3 的泵数量, 每批持续时间为 5 d, 试抽气时间不小于 15 d。这样做主要是防止因过高的真空能量使大量处于悬浮状态的细小土颗粒吸附在排水板表面, 形成一层不透水层, 从而影响地基加固效果。试抽气结束后, 待吹填层土体结构逐渐稳定, 具备

一定强度后, 再开启全部真空泵。

2 现场试验结果分析

天津南港工业区港区航道、港池挖泥结合吹填造陆工程 (B03 路西侧造陆 3 区) 软基处理工程为典型的新吹填超软土地基, 加固前主要土性指标见表 2。

表 2 加固前主要土性指标

数值	土的物理性质					界限含水率				工程分类
	含水率 $\omega/\%$	土粒比重 G_s	密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$		孔隙比 e	液限 $\omega_L/\%$	塑限 $\omega_p/\%$	塑性 指数 I_p	液性 指数 I_L	土样 分类定义
			湿密度	干密度						
最大值	134.2	2.75	1.44	0.73	3.74	42.14	20.82	21.32	5.96	流泥
最小值	97.8	2.74	1.36	0.58	2.76	38.62	19.80	18.82	4.12	流泥
平均值	113.7	2.75	1.41	0.66	3.19	39.75	20.13	19.63	4.79	流泥

2.1 含水率变化

通过对 3 种方案加固前后土体含水率的测试 (表 3) 发现, 方案 3 加固前后土体含水率降低幅度较方案 1 和方案 2 高 5%。

表 3 加固前后含水率对比

方案	加固前含水率 平均值/%	加固后含水率 平均值/%	降低率/%
1	109.60	70.70	35.49
2	108.98	71.00	34.85
3	102.72	60.90	40.71

2.2 地表沉降观测

取各方案实施区域沉降盘实测沉降的平均值绘制出图 7。从图 7 可看出, 在浅层真空预压 33 d 内, 各区沉降速率很快, 方案 3 沉降速率最大, 达到 2.6 cm/d, 方案 1 和方案 2 平均维持在 1.7 cm/d 左右, 沉降速率相差 0.9 cm/d。最终沉降量方案 1 为 937.3 mm, 方案 2 为 1 072.7 mm, 方案 3 为 1 339.7 mm, 其中方案 1 和方案 2 浅层加固期间累计沉降量平均值相差不大, 方案 3 浅层加固期间累计沉降量平均值最大, 较方案 1 和方案 2 高近 330 mm。各方案沉降量相当于插板范围内土层厚度 (4.5 m) 的 20.8% ~ 29.8%, 加固效果均较为明显。

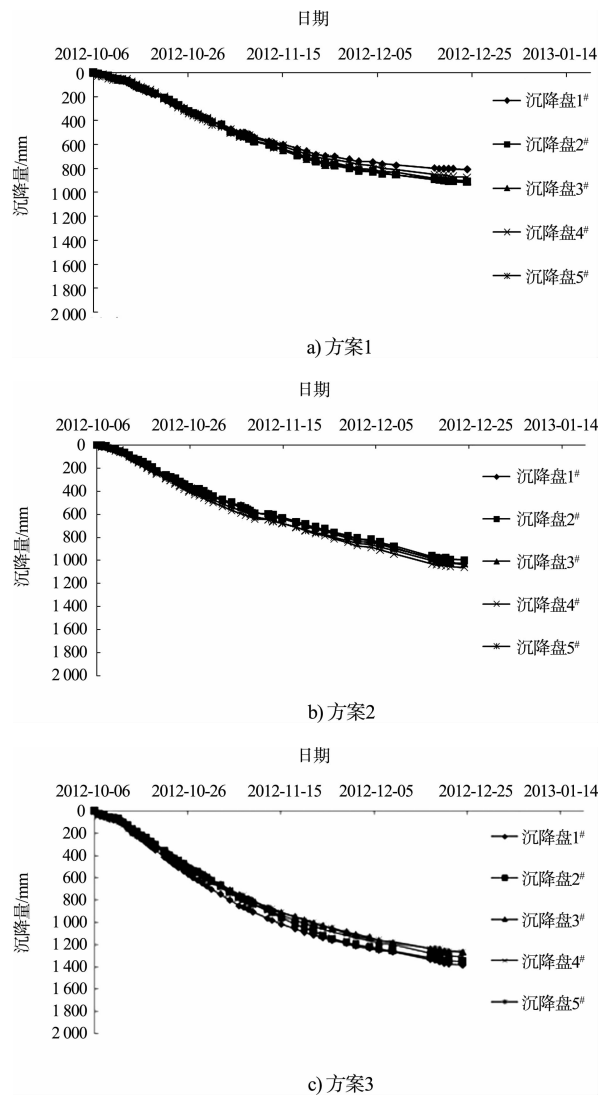


图 7 各方案沉降随时间变化曲线

2.3 十字板原位测试

通过对 3 种方案加固前后土体十字板强度的测试(表 4)发现, 方案 3 加固后土体十字板强度最大, 为 7.3 kPa, 强度增长率为 508%, 远远大于方案 1 和方案 2。

表 4 加固前后土体十字板强度对比			
方案	加固前十字板强度均值/kPa	加固后十字板强度均值/kPa	增长率/%
1	1.36	4.4	224
2	1.28	4.1	220
3	1.20	7.3	508

3 应用

在工程应用中, 3 种浅层超软土加固方案处理后都能不吹填或少吹填粉砂垫层既能满足后续机械插板的施工要求, 加固目的已达到, 工程应用取得成功, 但应用过程中还存在一些问题:

1) 浅层处理过后, 由于沉降不均匀使得场地的平整度较差, 应采取相应的措施保证浅层加固后场地平整度良好, 为后续高质量地完成机械插板工序创造更好、更安全的场地条件。可考虑在表层吹填一层 20 cm 厚的粉砂进行找平。

2) 浅层处理过后, 表层以下 50 ~ 80 cm 范围土体含水率较低、强度大, 后续打板施工中易形成桩孔, 若不及时对桩孔进行处理, 后续真空预压施工过程中桩孔处密封膜极易被抽破、漏气, 直接影响加固质量。可考虑用中粗砂对桩孔进行填充或在表面铺设一层格栅和土工织物加强对密封膜的保护。

3) 目前浅层超软土加固技术工程应用尚处于试验阶段, 对其加固抽气时间的确定以及卸载指标还需通过实践积累更多的数据, 最终形成较为

具体的评价体系和卸载标准。

4 结论

1) 3 种改进的技术方案实施后, 土体表层形成的硬壳层都能满足后续机械插板的施工要求, 加固效果显著。根据现场试验的各种监(检)测成果分析, 方案 3 加固后的土体在含水率、沉降量以及十字板强度方面与方案 1 和方案 2 比较表现最佳。

2) 现场试验结果表明, 浅层软土加固处理时通过减小塑料排水板间距、加密排水滤管布设以增加排水系统中的纵、横向排水通道, 在一定程度上可以促使土体中的水分在预压过程中快速排出, 使土体强度在相同加固时间内得以迅速提高。

3) 浅层超软土加固新技术, 虽然在浅层处理过程中因排水板和滤管工程量的增加使得成本有所升高, 但是方案实施后却能大幅减少粉砂的使用, 就整体工程而言其施工成本明显降低。同时浅层加固新技术的使用也避免了因粉砂供应不及时和吹填施工时间长对深层处理造成的影响, 大大缩短了工期, 也更加符合环保、节能减排的社会发展需要。

参考文献:

[1] 董志良, 周琦, 张功新, 等. 天津滨海新区浅层超软土加固技术现场对比试验[R]. 广州: 中交四航工程研究院有限公司, 2012.

[2] 张功新, 陈平山. 浅表层超软弱土快速加固技术研究[R]. 广州: 中交四航工程研究院有限公司, 2009.

[3] 董志良, 张功新, 郑新亮. 一种超软弱土浅表层快速加固系统: 中国, 200720050339. 8[P]. 2008.

(本文编辑 郭雪珍)