



超软土浅层加固技术中排水板间距现场试验研究

耿宏业¹, 鲍树峰², 陈伟东², 余东华²
(1. 神华粤电珠海港煤炭码头有限责任公司, 广东 珠海 519020;
2. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 以珠海高栏港区某吹填超软土浅层处理工程为依托工程, 设立了排水板不同间距的试验区, 通过现场监测与检测, 从真空度、沉降量和土工试验参数等指标分析了排水板间距对加固效果的影响, 得到如下结论: 1) 排水板间距越小, 受施工扰动的影响最大, 其加固效果并非最优; 2) 经试验比较, 排水板间距为0.8 m为最优方案; 3) 浅层加固后, 地表硬壳层厚度至少为40 cm, 满足后续施工需求。

关键词: 超软土浅层加固技术; 现场对比试验; 排水板间距; 加固效果

中图分类号: TU 47

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)02-0147-05

Field test study on PVD spacing of shallow ultra-soft soil improvement

GENG Hong-ye¹, BAO Shu-feng², CHEN Wei-dong², YU Dong-hua²

(1. Shenhua Yuedian Zhuhai Port Coal Terminal Co., Ltd., Zhuhai 519020, China;

2. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Based on a project on shallow ultra-soft soil improvement in Gaolan seaport area in Zhuhai seaport, a field test trial area with different spacing of PVD was prepared. By field monitoring and testing, the impact of PVD spacing on the soil improvement effect was analyzed in terms of the vacuum, the settlement and the geotechnical test parameters. It is concluded that: 1) When the PVD is constructed with a smaller spacing, the construction disturbance is bigger among the PVDs, but the improvement effect is not optimum; 2) According to the experiment and comparison, the optimum spacing of PVD is 0.8 m for this project; 3) After soil improvement, the thickness is more than 40 cm, satisfying the requirement of follow-up construction.

Key words: shallow ultra-soft soil technique; filed comparison test; spacing of PVD; improvement effect

随着沿海港口建设的不断发展, 世界各地的围海造陆工程日益增多^[1], 如近年来厦门港、天津港、连云港、温州地区、广州南沙港、深圳盐田区、珠海市高栏港区等地方开展了大量的围海造陆工程。

围海造陆工程多采用港池和航道的疏浚淤泥作为吹填土料, 经水力吹填后形成陆域场地。吹填过程中, 颗粒较小的黏粒随水漂流富集在出水口附近, 形成含水率大、压缩性高、抗剪强度低和渗透性差的淤泥、流泥等超软土。由于工程建

设工期短, 新近吹填超软土来不及自然晾晒, 基本无强度和承载力, 施工人员和机械设备根本无法进场施工^[2-5]。

近几年的工程实践表明, 采用超软土浅层加固技术^[6] (改进后的真空预压法) 处理新吹填的淤泥、流泥、浮泥等超软土, 经过约30 d的预压加固, 表层土体即可形成具有一定强度的硬壳层, 厚度为15~30 cm, 其承载力值可达30 kPa, 加固效果明显, 完全可以满足吹填砂垫层和机械插板的施工要求^[6-7]。

收稿日期: 2012-07-04

作者简介: 耿宏业 (1973—), 男, 硕士, 从事工程项目管理工作。

然而,相对于成熟的传统真空预压法而言,超软土浅层加固技术工程应用仍处于探索阶段,比如排水板间距到底为多少比较合适,传统的真空预压法中排水板间距一般为1.0~1.5 m,但对于含水率高达150%以上的新近吹填淤泥,常规间距显然难以满足固结要求,而间距太密又将使工程造价急剧增加,因此,研究排水板间距对加固效果的影响就显得尤为重要。

本文以珠海港高栏港区某超软土浅层处理工程为依托工程,进行不同排水板间距下的现场对比试验,并结合监测检测成果对分析土体的加固效果。

1 施工方案

试验区概况见表1。新近吹填超软土厚度为

4.5 m左右,浅层土体含水率高达153.3%,呈浮泥-流泥状,基本无承载力和强度,采用超软土浅层加固技术进行处理。

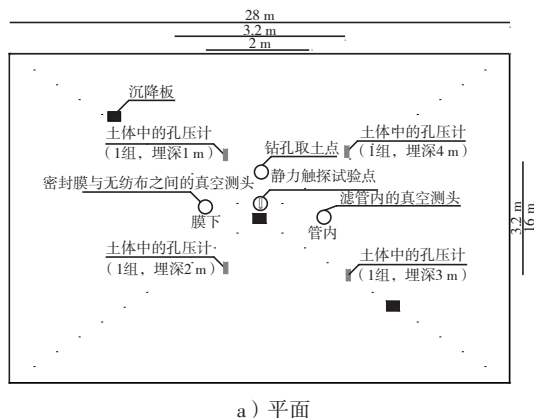
各分区主要施工工艺流程为:1)铺设1层200 g/m²编织布;2)铺设1层300 g/m²无纺土工布;3)陆上裁剪排水板短板,排水板为分体式A型的原生塑料排水板;4)将排水板板头外裹无纺土工布,并按单排单管形式与软式透水滤管绑扎连接,同时,将排水板底端密封;5)各分区均按单排单管形式布设已连接好排水短板的水平排水滤管;6)人工插设塑料排水板短板,插设深度为4.5 m,插设间距见表1;7)铺设1层双向拉伸土工格栅(TGSG2020);8)铺设1层200 g/m²无纺土工布;9)铺设2层厚为0.14~0.16 mm的密封膜;10)浅层抽真空时间约为45 d。

表1 试验区概况

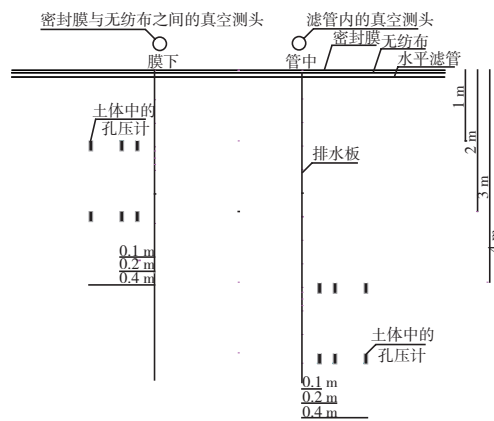
分区	尺寸/(m×m)	面积/m ²	排水板间距/m	排水板插设深度/m	抽真空时间/d
A	28×16	448	0.7	4.5	45
B	28×16	448	0.8	4.5	45
C	28×16	448	0.9	4.5	45

2 监测和检测方案

为了对比分析3个分区的加固效果,各分区均对与板头不同水平间距(距板头距离分别为0.1, 0.2和0.4 m)和不同深度处(埋深分别为1, 3和4 m)土体中的孔压消散情况、地表沉降进行全程跟踪监测。而且,卸载前在2排滤管中间、距板头为0.2 m处,选取有代表性的位置进行静力触探试验和钻孔取土试验。3个分区的监测检测点布置情况相同,其中A分区的监测检测平面和断面见图1。



a) 平面



b) 断面

图1 A分区监测检测平面和断面示意图

3 监测和检测结果分析

3.1 膜下真空度

各试验分区均于2011年9月8日开始抽真空。由于试验分区面积小,试抽真空1 d后,即进入真空恒载阶段。抽真空期间,各试验分区测试位置处膜下真空度(仅包含“水平滤管中的真空度”和“密封膜与无纺布之间的真空度”)随时间的变化曲线如图2所示,对比情况如表2和表3所示。

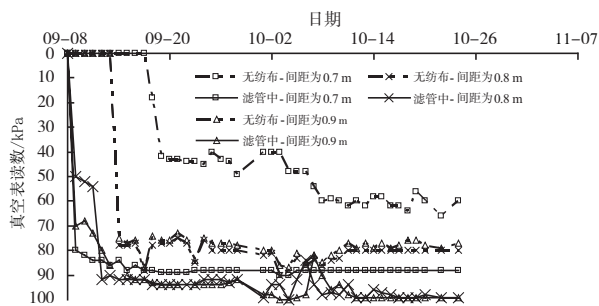


图2 测试位置处膜下真空度

表2 测试位置处滤管中的真空度

分区	排水板 间距/m	抽真空 时间/d	滤管内 真空度/kPa	抽真空 时间/d	滤管内 真空度/kPa
A	0.7	5	-86	45	-88
B	0.8	4	-92	45	-99
C	0.9	5	-86	45	-99

表3 测试位置处密封膜与无纺布之间真空度

分区	排水板 间距/m	抽真空 时间/d	密封膜与无纺布 之间真空度/kPa	抽真空 时间/d	密封膜与无纺布 之间真空度/kPa
A	0.7	9	-18	45	-60
B	0.8	5	-78	45	-80
C	0.9	5	-75	45	-79

由图2、表2和表3可知:

1) 水平滤管中的真空度: ①真空恒载5 d后, A分区和B分区, 测试位置处滤管中的真空度即达到了-86 kPa; 而B分区, 真空恒载4 d后, 测试位置处滤管中的真空度就达到了-92 kPa。②真空恒载后期, B分区和C分区, 测试位置处滤管中的真空度基本稳定在-99 kPa左右; 而A分区, 测试位置处滤管中的真空度基本稳定在-88 kPa左右, 如表2所示。

2) 密封膜与无纺布之间的真空度: ①真空恒载5 d后, B分区和C分区, 2排水平滤管中间、密封膜与无纺土工布之间的测试位置处(简称无纺布测试位置处)就开始有真空度, 分别为-78 kPa和-75 kPa; 而A分区, 真空恒载9 d后, 无纺布测试位置处才开始有真空度, 为-18 kPa。②真空恒载后期, B分区和C分区, 无纺布测试位置处的真空度上升很快, 基本稳定在-80 kPa左右; A分区, 无纺布测试位置处的真空度一直在上升, 但上升速度一般, 最后基本稳定在-60 kPa左右, 如表3所示。

根据上述分析可知:

1) 抽真空期间, B分区和C分区的膜下真空度变化情况基本一致, 也比较稳定。

2) A分区的膜下真空度明显低于B分区和C分区, 主要原因为排水板间距越小, 排水板施工时互相扰动程度越大, 冒浆现象也越严重。因此, 施工过程中的扰动影响了真空度在水平方向的传递效果。

3.2 地表沉降

由于土体的固结, 必然产生一定的沉降, 因此, 对抽真空过程中的地表沉降进行跟踪观测, 可以了解土体的固结过程, 同时也可以反映出该种处理方法在提高土体结构强度方面(也即加固效果)是否是有效的^[3]。

各区测点平均地表沉降随时间变化曲线如图3所示。

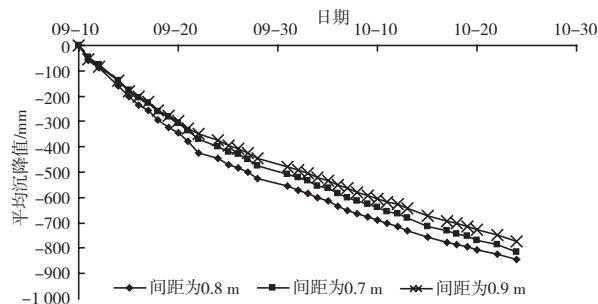


图3 各区测点平均地表沉降随时间的变化曲线

由图3可知: 1) 2011年9月22日之前(抽真空时间为14 d), 3个分区测点处的平均沉降速率明显大于抽真空后期, 几乎成45°直线增长; 2) 卸载前, 3个分区测点处平均沉降仍无稳定趋势; 3) B分区的地表平均沉降值明显大于C分区和A分区, 后两者接近, 并没有遵循“排水板间距越小, 沉降值越大”的规律。经分析, 主要原因是: A分区排水板施工时互相扰动程度大, 涂抹现象严重, 文献[7]研究单面和双面排水情况下未打穿砂井地基的固结问题时, 得出了“施工扰动范围、程度越大, 固结越慢”的结论, 能很好地解释这种现象。

对于含有水平排水砂垫层的传统真空预压技术而言, 考虑理想井时, 排水间距越小, 加固效果越好。然而, 对于超软土加固技术(改进后的

真空预压技术)而言,尽管排水板间距小,但若排水板施工时互相扰动程度大,其加固效果也会有一定程度上的削弱。

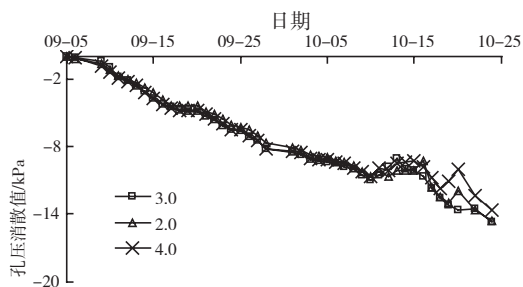
3.3 土体中的孔压消散情况

超软土浅层加固技术主要采用吹填泥浆、浮泥作为吹填土料,因此,真空预压加固过程中,土体中不同深度处的孔压消散规律一定程度上取决于吹填泥浆、浮泥的沉积规律。同时,受吹填土料工程性质、吹填时水利条件等多方面因素的影响,大面积吹填泥浆、浮泥空间分布不均性显著,所以,各区孔压消散规律既有相同之处,又存在较大的差异^[2,5]。

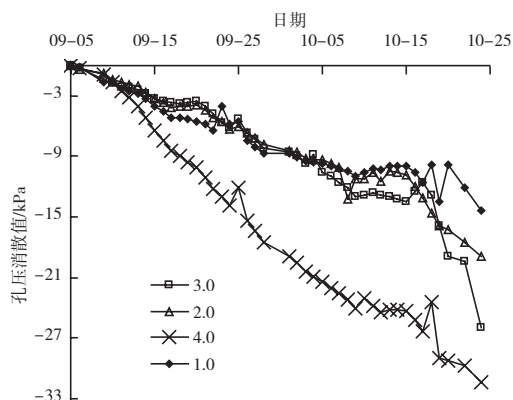
为了更好地了解浅层真空预压期间土体中的孔压消散规律,各分区均选取位于2排滤管之间、与板头的水平距离为0.4 m、不同深度处的孔压监测点进行分析,如图4所示。

由图4可知:

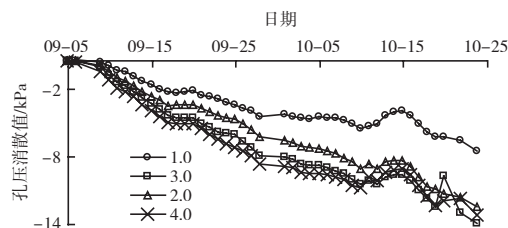
1) 抽真空约45 d后, A分区, 测点1 m深处的孔压失效, 测点2, 3和4 m深处的孔压消散值分别为-14.7, -14.7和-13.7 kPa; B分区, 测点1, 2, 3和4 m深处的孔压消散值分别为-14.4 kPa, -18.8, -25.7和-31.4 kPa; C分区, 测点1, 2, 3和4 m



a) 排水板间距为0.7 m



b) 排水板间距为0.8 m



c) 排水板间距为0.9 m

图4 各分区测点处土体中孔压消散随时间的变化曲线

深处的孔压消散值分别为-8.0, -12.9, -13.7和-14.4 kPa。因此, B分区测点处的累计孔压消散值明显大于其它2个试验分区。

2) 各试验分区测点不同深度处的孔压消散规律不一致, 排水板间距为B分区和C分区均随深度增加而增大, 而A分区随深度的增加略有减小的趋势。

3) 2011年10月11日—2011年10月18日, 各试验分区测点处孔压消散值先出现突然降低, 几天后又回升的现象, 这主要由于这期间膜上有一定深度的积水、7 d后又被抽走所致。

4) 抽真空约45 d后, 各试验分区测点处的孔压消散值仍然一直在增大, 未出现趋于稳定的趋势。

经分析, 相应于上面第1) 点和第2) 点的主要原因是:

1) 沉积规律: 吹填泥浆、浮泥经水力分选后, 粒径较大的粉粒沉降速率快, 而粒径较小的黏粒沉降速率较慢, 符合Stoke定律。由于浮泥中的细颗粒随水流动性很强, 所以在浅层抽真空负压差作用下, 细颗粒随水向排水板周围聚集形成“土柱”, 从而包裹排水板, “土柱”极低的渗透性严重阻碍真空度向周围土体的传递, 而下部土层颗粒较粗, 结构性相对较好, 有利于真空度的传递和孔压的消散, 如图4a) 所示。

2) 空间分布的不均匀性: 受吹填土料工程性质、吹填时水利条件等多方面因素的影响, 大面积吹填泥浆、浮泥空间分布不均性显著。

3) 真空压力传递路径长, 膜下真空度损失大, 如图2所示, 削弱了土体中真空压力的传递效果。

4) 排水板施工过程中扰动的影响: B分区的

孔压消散值明显大于A分区和C分区,而后两者相接近,这主要是由于排水板间距越小,排水板施工时互相扰动程度越大,涂抹现象严重。

3.4 静力触探试验成果

各试验区“板间土”2排滤管之间、与排水板板头的水平间距为20 cm,试验点位置不同深度处的比贯入阻力的对比情况见图5。

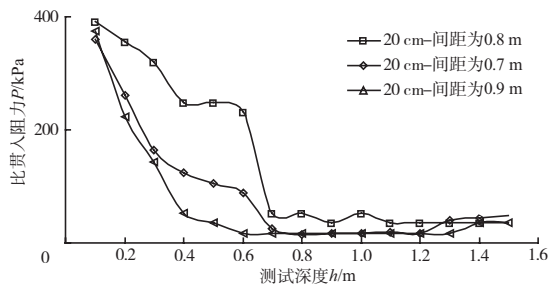


图5 板间土不同深度处的比贯入阻力对比曲线

由图5可知:地表以下0.6 m范围内, B分区测试点的比贯入阻力值明显大于其它两个试验区,因此,地表以下0.6 m范围内, B分区的土体强度明显大于其它2个试验分区。显然,这并未遵循“排水板间距越密,与排水板板头相同水平距离、不同深度处的比贯阻力越大、加固效果越明显”的规律。

经分析,其主要原因是: A分区排水板施工时互相扰动程度大,涂抹现象严重,文献[7]的结论能很好地解释这种现象。

3.5 室内土工试验成果

为了进一步检验浅层超软土加固效果,利用薄壁取土器(100 mm×1.5 mm×1 000 mm)(直径×厚度×高度)在各试验分区的静力触探试验点附近、地表以下1.0 m范围进行人工取原状土样,然后进行室内土工试验,各试验分区加固前后土体的物理力学指标如表4所示。

表4 各试验分区浅层土体加固后的物理力学指标

分区	排水板间距/m	取样深度/m	含水率/%	孔隙比	液限指数
A	0.7	0.1~0.3	64.7	1.751	1.40
		0.3~0.6	67.1	1.761	1.60
B	0.8	0.1~0.3	58.8	1.548	1.54
		0.3~0.6	55.1	1.563	1.47
C	0.9	0.1~0.2	62.4	1.730	1.19
		0.2~0.4	72.3	1.954	1.59

由表4可知:

1) 有效加固深度:取样时,3个试验分区薄壁取土器均未装满土样,土样长度分别为0.6, 0.6和0.4 m,因此,相应的有效加固深度分别为0.6, 0.6和0.4 m,与现场原位试验结果基本吻合。

2) 土体状态:根据含水率可知,3个试验分区的浅层超软土经处理后均已从浮泥-流泥状态转变为淤泥。

3) 土体相关指标:关于土样含水率和孔隙比的降低幅度, B分区>A分区>C分区。

4 结论

1) 超软土浅层加固技术中,排水板间距越小,排水板施工时互相的扰动程度大,冒浆现象严重,涂抹效应强,从而削弱了土体的加固效果,因此,并不遵循理想井情况下“排水板间距越小,加固效果越好”的规律。

2) 经试验比较,该依托工程真空预压加固浅层超软土的最佳排水板间距为0.8 m。

3) 浅层加固后,地表有效加固深度至少为40 cm,能满足后续施工要求。

参考文献:

- [1] 王保田,方开泽.用恒应变率固结试验测定吹填土的固结参数[J].疏浚与吹填,1998(4):34-41.
- [2] 文海家,严春风,汪东云.吹填软土的工程特性研究[J].重庆建筑大学学报.1999,21(2):79-83.
- [3] 成玉祥.滨海吹填土结构强度形成机理与真空预压法关键技术研究[D].西安:长安大学,2008.
- [4] 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,2009:1-9.
- [5] 叶国良,郭述军,朱耀庭.超软土的工程性质[C]//中国土木工程学会港口工程分会.全国超软土地基排水固结与加固技术研讨会论文集.天津,2010:12-25.
- [6] 董志良,张功新,周琦,等.天津滨海新区吹填造陆浅层超软土加固技术研发及应用[J].岩石力学与工程学报,2011,30(5):1 073-1 080.
- [7] 郭彪,龚晓南,卢萌盟,等.考虑涂抹作用的未打穿砂井地基固结理论分析[J].岩石力学与工程学报,2009(12):2 561-2 568.

(本文编辑 郭雪珍)