

真空预压在沿海软土地基加固中的应用

徐建华, 胡宾荣

(浙江省岩土基础公司, 浙江 宁波 315040)

摘要: 宁波安博(北仑)港物流中心拟在海滨软土地基上建造2幢1~2层厂房。根据场地条件和土层特性,其软地基采用真空预压法加固处理。施工过程中注意质量控制点的把握,精心组织施工;同时认真有效地对施工过程中和施工后对各种原位测试数据进行系统采集研究分析,结果证明,本次真空预压加固达到地基处理目标的各项要求,取得了成功。

关键词: 真空预压;软土地基;加固处理;质量控制要点;效果检测

中图分类号: TU472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)06-0047-04

Application of Vacuum Preloading for Foundation Reinforcement in Coastal Soft Ground/XU Jian-hua, HU Bin-rong(Zhejiang Provincial Geo-engineering Foundation Company, Ningbo Zhejiang 315040, China)

Abstract: A factory building was planned to be built in coastal soft ground. According to the site condition and soil characteristics, vacuum preloading was adopted for soft ground reinforcement. In-situ test data were systematically collected and analyzed in the construction and after construction, which proved that application of vacuum preloading was successful.

Key words: vacuum preloading; soft ground; reinforcement; quality control point; effect inspection

1 真空预压简介

真空预压法是软土地基加固处理的有效方法之一,属于排水固结法的一种,对分布在沿海地区的含水量高、强度低、压缩性大和透水性差的软弱粘土层尤其有效。

在建(构)筑物建造前,先在拟建场地上施工由水平排水体和竖向排水体构成的排水系统;然后在地面铺盖不透水的密封膜与大气隔绝;通过埋设于膜下的带有滤水管的分布管道,用射流泵进行抽气、抽水,使膜下形成真空度;通过垂直排水通道逐渐向下延伸并向其四周的土体传递与扩散,引起土中孔隙水压力降低,形成负的超静孔隙水压力。从而使土体孔隙中的气体和水由土体向垂直排水通道渗流,最后由垂直排水通道汇至膜下的水平排水通道被泵抽出。使土体中孔隙水排出,孔隙体积变小,土体密实,增长土体的抗剪强度,提高软土地基的承载力和稳定性。

2 工程概况

宁波安博(北仑)港物流配送中心厂房地处东海之滨宁波,场地地貌属滨海积平原,地势平坦。拟建2幢1~2层物流中心厂房,由于天然地基土的强度很低,无法满足仓储的要求,根据地质条件,经过

技术经济对比分析,设计采用真空预压进行地基处理,要求处理后地基承载力特征值达到60 kPa,地基处理总面积约3.8万 m^2 。

拟建场地地质情况如下:

①素填土,灰色,主要由淤泥以及一些碎石组成,局部堆填,厚度0.3~3.7 m,回填时间短,结构松散,目前人可以进入,但易下陷;

②粉质粘土,褐黄色,局部缺失,厚度0.5~3.0 m,含水量30.1,孔隙比0.875,液限37.3,塑性指数14.9,液性指数0.518,压缩系数0.46,压缩模量4.44 MPa;

②₁淤泥质粉质粘土,流塑,干强度高,全场分布,厚度6.3~10.7 m,含水量48.7,孔隙比1.349,液限39.5,塑性指数16.7,液性指数1.557,压缩系数1.29,压缩模量2.00 MPa;

②₂淤泥质粘土,流塑,干强度高,厚度6.2~13.0 m,含水量46.9,孔隙比1.33,液限39.6,塑性指数16.8,液性指数1.434,压缩系数1.12,压缩模量2.13 MPa;

④淤泥质粉质粘土,流塑,厚度0.6~15.6 m,含水量42.6,孔隙比1.23;

⑤粉质粘土,可塑为主,局部软塑,厚度1.5~16.7 m,含水量27.7,孔隙比0.774;

收稿日期:2009-03-06; 改回日期:2009-05-19

作者简介:徐建华(1973-),男(汉族),浙江宁波人,浙江省岩土基础公司特种工程分公司副经理、工程师,勘察工程(探矿工程)专业,从事基础加固、工程病害治理工作,浙江省宁波市宁穿路448弄16号,478704779@qq.com。

⑥粉质粘土,可塑,干剪强度高,厚度0.3~9.1 m,未钻穿。

场地地下水属孔隙潜水,地下水埋深较浅,为0.5~1.5 m,水位受气候影响变化大。

根据地质情况及仓库荷载作用特点,本工程具有如下特点:(1)场地地层为深厚的饱和软粘土,压缩性高,在大面积荷载作用下沉降量大;(2)对于地基变形与强度影响较大的是②₁和②₂层流塑状淤泥质粘土,表层0.3~3.7 m的淤泥层对于表层强度及荷载应力扩散有较大影响;(3)压缩层厚度不均匀,特别是第②₂层会给将来正常使用带来较大的差异沉降;(4)②₁和②₂层淤泥质粘土塑性指数高,粘性大,不易排水,增加了地基处理难度;(5)场地局部为泥浆池,面积约8000 m²,深度3.0~4.0 m,需进行换填,填土与原状土的不同带来了场地的不均匀性;(6)表层淤泥对设备进场、施工带来了较大困难;(7)设计要求地基承载力不算高,关键是工后沉降和控制差异沉降。

3 真空排水固结系统的设计方案

本工程采用超载真空预压+冲击振动碾压联合法施工,它是在常规的真空预压法的真空膜上堆料加载,并即时绘制 $s-t$ 沉降时间曲线,根据控制参数当沉降曲线完全平稳后停止超载真空预压,进行冲击振动碾压,密实表层填土并迅速提高其强度。

(1)根据场地软土层厚度、分层情况、原位测试资料、真空施工能力,整个场地划分为西北和东南2个超载预压区,每个超载预压区根据插板情况的不同分别分为2个区。

(2)插打塑料排水板形成竖向排水体,排水板采用SPB-B型板,宽度10 cm,深度从现塘渣面算起约11 m,间距为1.0 m×1.0 m,正三角形布置。

(3)铺设厚度为0.4 m的中粗砂垫层(含泥量<5%),用轻型推土机与人工相结合的方式分2层填铺,将塘渣间空隙填满。

(4)开挖周围密封沟,沟宽0.8 m左右,位于扩宽边线外缘,因含水量高而难以成沟时需进行明沟排水。

(5)铺设并连接水平排水管,滤管与主管均为 $\varnothing 50$ mm的硬质PVC波纹滤管,滤管与主管垂直,滤管间距为6 m,主管间距为20 m,滤管与主管均埋入砂垫层中。

(6)砂垫层表层铺设2层250 g/m²短丝无纺土工布,2层0.14 mm的真空膜,采用两膜两布,膜上

膜下各一层布。在铺设密封膜后,密封沟要用淤泥或粘土回填。

(7)试抽真空并无漏气现象后,当膜下真空压力达到80 kPa后稳压。稳压约10天后在土工布上再回填0.4 m厚的中粗砂和0.5 m厚的塘渣,进行超载预压。

(8)超载预压期间进行真空度、沉降量监测,并绘制 $s-t$ 曲线,待连续4天日平均沉降量达到2 mm停止超载预压。

(9)采用冲击振动碾压(进行2~3遍)压实表层土体(标高不足时,可分层回填塘渣),密实度需达到90%以上,进一步提高表层土体强度和增加施工沉降量。

4 施工流程及质量控制要点

本工程计划使用7.5 kW真空泵35~40台,设计总容量达300 kW。为确保真空预压工程的供电,需根据需要配备多个二级电箱。主要施工步骤有:测量放线→回填并整平场地→插打塑料排水板→铺设上层砂垫层→铺设水平管→砂面整平→铺设真空膜→施工密封沟→设置测量标志→安装真空泵→抽真空预压→人工布上回填砂并压实→回填塘渣并压实→超载真空预压固结土层→达到要求后卸载。

具体施工流程如图1所示。

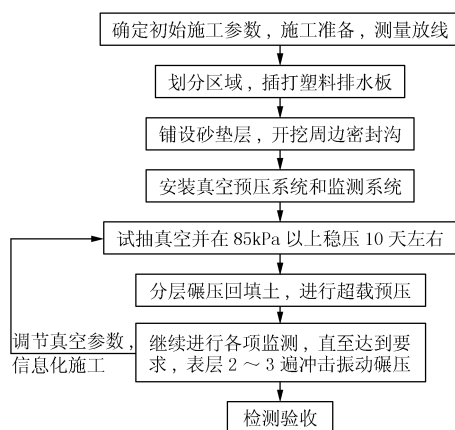


图1 超载真空预压+冲击振动碾压联合法施工流程图

施工过程中的质量控制要点如下。

(1)填砂垫层采用中粗砂,含泥量控制在5%以内,回填后压实,避免预压期间垫层表面不平整及影响后期沉降观测。

(2)严格控制塑料板打设长度,现场设专人检查,严格控制回带。

(3)塑料板严防出现扭结、断裂、撕裂滤膜及塑料板打设后在垫层中开成空洞等现象。打塑料板

时,顺板人员要认真负责,必须将板面理顺,防止板面扭结进入套管。有风天气施工时要特别注意,防止风力将板的滤膜撕破,六级以上风力应停止打塑料板。

(4)准确裁断塑料板,本工程设计要求露出砂面塑料板为40~50 cm,当遇有泥层较软地段,排水板外露出长度适当加长。

(5)抽气。调整各种仪器的初读数,进行开泵试抽真空,检查膜上是否有漏洞,膜下真空度应稳定在80~85 kPa,为确保真空预压效果及满足工期要求,保持所有真空泵每天24 h连续作业。在抽真空过程中,采取连续补水措施,保持水箱水满,温度正常。并要认真观测泵、真空管、膜内真空度的变化情况,发现异常,及时采取解决办法。

(6)施工记录。每天按要求时间,对真空度予以记录,对于设备运转情况,供电情况及其它与真空预压有关的施工情况均要进行详细记录,真空度记录要求及时准确。

(7)要做好铺真空膜及其密封工作,抽真空时保持膜内真空度80~85 kPa,如发现密封出现问题,

应及时查找原因。

(8)在安设真空膜的同时布设沉降观测系统,在真空预压开始后同步进行沉降观测,观测要求按真空预压的相关操作规程执行,各观测点的 $s-t$ 曲线要同步绘制。

5 施工效果检测

为掌握地基在处理过程中的沉降规律,检验地基真空预压是否达到预期效果,施工过程中对真空预压进行了原位观测。共完成深层土体位移检测孔6个,分层沉降孔6个,地表沉降检测点16个,地下孔隙水压力监测8个,取土钻孔4个,静力触探孔8个,十字剪切试验孔2个,地面荷载试验点4个。

5.1 地面沉降监测

在地基处理场地的两个仓库长轴线上各布设4个地面沉降监测点,另外按基本等间距在地基处理的范围内两个仓库位置内再各布设4个地面沉降监测点,共布设沉降监测点16个。监测过程中测量用DS2型水准仪和FS1型平板测微器加上2 m沉降测量专用钢钢尺进行。一号仓库沉降曲线见图2。

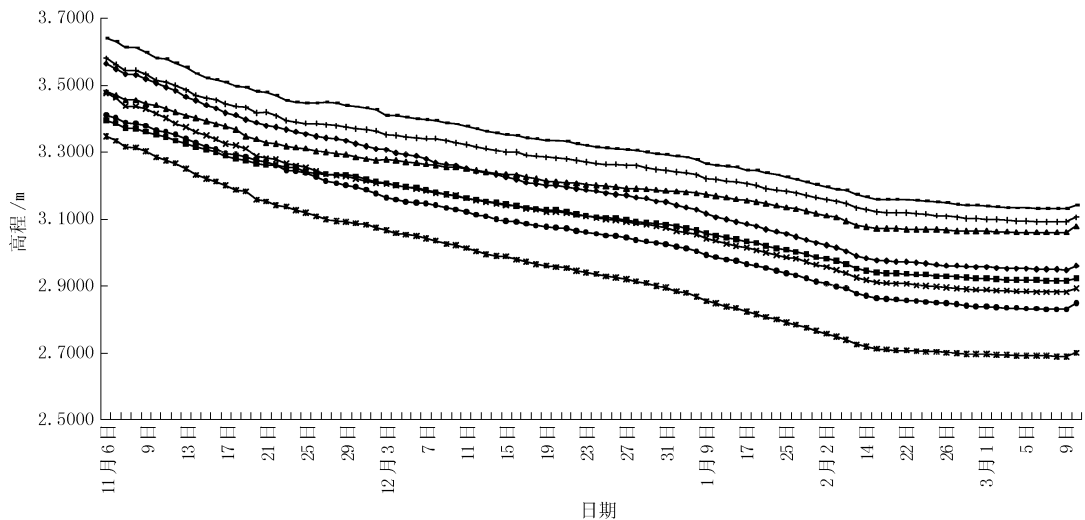


图2 一号仓库8个监测点的沉降曲线

5.2 深层土体位移监测

按设计要求在两个仓库的长边方向各布设了4个深层土体位移监测孔,由于在钻探监测孔时场地内不平整,而且正在施工密封沟,所以各深层土体位移监测孔离真空处理密封沟的距离并不相等,加上在真空预压过程中经常要由挖土机在沟边进行密封加固、地基原土层的均匀性等影响,所以各监测孔得到的各位置土体位移并不一样,最大的在地面有300 mm以上向内的土体位移,最小的只有不足100 mm位移量,只有不足100 mm位移量的孔离真空膜

边较远(约6.5 m)。如果剔除一些特殊性,可以得出在离真空膜3 m左右的地表土体位移在300 mm左右,本次真空处理在离真空膜外3~4 m的位置深层土体的12 m左右深处仍可以见到位移,可以说本次真空预压处理的效果还是比较明显的。

5.3 静载荷试验

采用堆载荷重反力加载装置,承压板面积为1.0 m×1.0 m,主梁由3根工字钢组成,两侧通过工字钢架设在砂包上,上层横向布置若干工字钢,形成反力平台,在平台上堆放砂包,通过设置在地基土上

部的千斤顶顶推反力平台,将产生的荷载传递给受压土层。

加压系统由一只 500 kN 油压千斤顶、压力表、接力柱共同组成,手动加载。

沉降量测定采用精度为 1/100 mm、最大量程为 30 mm 的百分表 2 只,通过静止的基准梁作为参照物,以测量在不同荷载作用下的沉降量。得到各点典型的 $P-s$ 曲线及其对应的 $s-lgt$ 曲线如图 3、4。

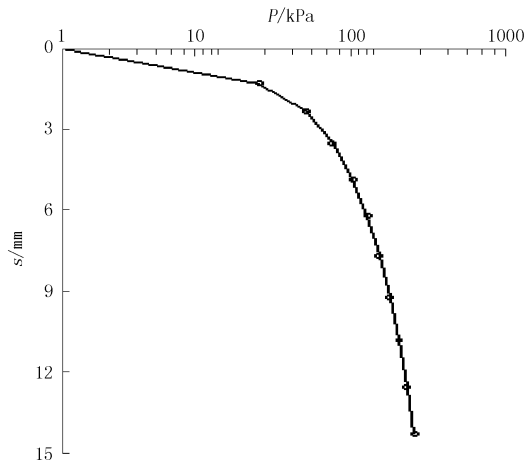


图3 $P-s$ 曲线

$P-s$ 曲线、 $s-lgt$ 曲线表明:试验点在 180 kPa 静载作用下没有出现明显的土体破坏特征,下沉曲线正常,在抽检的点位上地基承载力可以满足仓库地表承载力特征值 80 kPa 的要求。

6 体会

(1)真空预压与堆载预压法相比,具有加荷速度

(上接第 46 页)

底压力也较为吻合。值得注意的是,实测边缘部分压力值(11号)较加载值大,主要由实际油罐壁及环梁自重引起,而数值计算时未考虑其自重影响。

4 结语

本文利用有限差分程序 FLAC^{3D} 对长岭炼油化工厂所进行的充水预压法处理油罐软土地基工程进行了数值模拟,并和实测数据曲线进行了拟合,结果显示了较好的趋势一致性,得出以下结论:

(1)油罐基础沉降变形曲线呈“碟形”,基础边缘(环梁部分)沉降小,基础中心部分沉降大。

(2)沿油罐基础径向方向,在油罐基础范围内,水平侧向位移逐渐增大;在外侧,水平侧向位移逐渐减小,在油罐基础边缘附近达到最大。

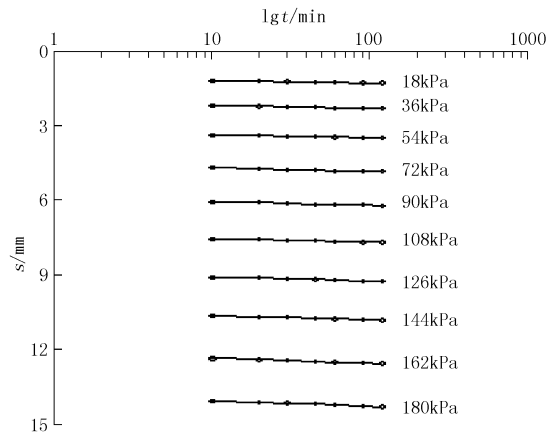


图4 对应的 $s-lgt$ 曲线

快、无须堆载材料即可达到 95 kPa 左右压力、工期短、费用少、加荷中不会出现地基失稳现象等优点。

(2)真空预压工序复杂,受影响因素多,易出现质量问题,施工过程中必须做好地表处理,砂砾垫层(水平排水体)设置,塑料排水板打设,真空预压气密性控制,加载过程中的观测及分析等关键工作。

(3)加固处理后,消除了该地域地基过大沉降,明显减小了沉降速率,固结度、承载力能满足地基处理目标要求。

参考文献:

- [1] 姜炎. 真空排水法预压法加固软土技术[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [2] 赵维炳,刘家豪. 排水固结加固软基技术指南[M]. 北京:人民交通出版社,2005.

(3)初始加载时油罐基础底板基底反力分布均匀,但随着反复荷载的继续加载,基底反力逐渐呈现鞍形分布:中间小,边缘大。

(4)鉴于基础沉降呈碟形差异沉降、基底反力呈鞍形分布,罐底柔性基础地基土应采取增大刚度的措施(如中心部位挤密或布设小型摩擦桩等),使油罐与柔性基础、柔性基础与地基土共同作用更加协调。

参考文献:

- [1] 王文军,朱向荣. 大型油罐地基变形特性分析[J]. 建筑结构, 2007, (11).
- [2] 戚银生. 充水预压法处理非饱和土地基[J]. 勘察科学技术, 2003, (3).
- [3] 龚晓南,俞建霖. 地基处理理论与实践新进展[A]. 第八届全国地基处理学术讨论会论文集[C]. 长沙:2004.
- [4] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].