

堆载预压与强夯在某港区地基处理中的应用

隆 威¹, 吴晓恩¹, 刘之葵², 杨平园², 邓君君¹

(1. 中南大学地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083; 2. 桂林工学院土木工程系, 广西 桂林 541004)

摘要:结合工程实例, 针对不同的地质及环境条件, 介绍和探讨了堆载预压和强夯在深圳某港区软基加固工程中的应用、设计方案、施工参数选取、施工中遇到的技术问题和处理方法, 并对两种方法加固效果进行了检验和分析。

关键词:堆载预压; 强夯; 软基加固

中图分类号: U655.54 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)01-0040-04

Application of Stack Preloading and Dynamic Compaction in Foundation Treatment of a Port Area/LONG Wei¹, WU Xiao-en¹, LIU Zhi-kui², YANG Ping-yuan², DENG Jun-jun¹ (1. College of Geoscience and Environmentl Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 2. Department of Civil Engineering, Guilin institute of Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: Combined with engineering, in accordance with different geological and environment conditions, a study is carried out to the application scope of stak preloading and dynamic compaction in soft foundation treatment of a port area in Shenzhen, the design of construction parameter, the main technical problems arising from construction, as well as solutions to them. The examination and analysis are made on the reinforcement effect of the two methods. The result shows that the analyzer fulfills all design requirements.

Key words: stak preloading; dynamic compaction; soft foundation consolidation

0 引言

我国沿海地区分布有大范围的软土层, 许多建筑物需要建筑在软土层上。这些软土在地质上属第四系全新统 Q⁴ 土层, 多属于饱和的正常压密粘土, 土的类别多为淤泥、淤泥质粘土、淤泥质亚粘土, 在南方有些地区还有淤泥混砂层。这类地基具有高含水量、大孔隙比, 低强度、高压缩性, 低透水性, 中~高灵敏度的特点, 这类地基一般不宜选为建筑物天然地基直接持力层, 必须对其进行地基加固处理。堆载预压法和强夯加固法是工程实践中常用的两种地基处理方法。现将堆载预压和强夯法两种地基处理方法列于表 1^[1,2]。

1 工程概况

场地位于深圳市盐田港西港区, 原为滨海潮间带, 后用开山石围海填堤, 形成封闭围堤后经吹填淤泥和粉细砂而成。该场地曾吹填淤泥和粉细砂至约 +1.30 m 高程, 其中场地北部有部分杂填土, 土料主要是土夹石, 偶有建筑垃圾。本次地基加固面积为 79844 m², 地基加固规范标高为 +4.50 m。

根据钻探揭露, 整个场地内地层自上而下依次

表 1 堆载预压与强夯法地基处理方法对比表

方法	堆载预压	强夯
加固机理	通过布置垂直排水通道, 采用堆载措施, 加速地基土的固结和强度增长, 使沉降提前完成	运用夯击在地基中产生的冲击波和动应力, 提高土的强度, 降低土的压缩性, 同时提高土的均匀程度, 减小差异沉降
有效深度	25 m	8 m
施工工艺	较简单	简单
处理效果	处理后地基土性均匀, 固结度和强度增长快, 后期沉降量小	地基承载力有显著提高, 前期沉降量减小, 不均匀沉降减小, 但后期沉降较大
工程造价	较高	低
适用范围	处理饱和和软粘土、可压缩粉土、有机质粘土以及泥炭土等地基	碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基

为: (1) 第四系人工填土层, 此层在场地南侧淤泥裸露地段局部缺失, 主要由杂填土和素填土组成。杂填土主要在场北侧及东侧局部分布, 厚度 3.80 ~ 13.7 m, 平均厚度 8.93 m; 素填土主要在场中部及东侧大部分分布, 标贯击数平均值为 8.6 击。层厚不均匀, 在 4.00 ~ 11.30 m 之间, 平均厚度为 8.10 m。(2) 第四系海积层, 主要为淤泥, 为主要软弱土层。淤泥层的渗透系数为 (2.50 ~ 3.00) ×

收稿日期: 2007-06-11

作者简介: 隆威(1962-), 男(汉族), 重庆丰都人, 中南大学地学与环境工程学院副院长、教授, 探矿工程专业, 从事地质工程、岩土工程专业教学、科研工作, 湖南省长沙市, susihuang@126.com; 吴晓恩(1983-), 男(汉族), 湖南洪江人, 中南大学硕士在读, 地质工程专业, 研究方向为岩土工程设计与施工, wx20013184@163.com。

10^{-7} cm/s 左右,渗透性能极差,含水量平均值为 60.3%,属高饱和土体。除局部极小范围由于填土挤淤缺失外,该层其它地段均有分布,厚度由北向南渐渐变大且大部分区域在淤泥未经任何处理的情况下进行了回填,回填土的密实度很差。厚度为 0.40 ~ 17.50 m 不等,平均厚度为 10.37 m。这部分淤泥为本次地基加固的主要处理对象。(3)第四系冲洪积层,主要包括粉砂层、中粗砂、含砾粉质粘土,其物理力学性质较好,不需处理。(4)第四系残积层,主要为砂质粘性土。

按照设计要求,通过一年的地基加固,地基承载力标准值 ≥ 200 kPa,工后最大剩余沉降量 ≤ 300 mm,场地交工面标高为 +4.50 m。

2 地基加固设计概况

本场地地基加固按照不同的处理方法分为 A 区和 B 区。B 区又以是否已进行素土回填分为 B1、B2 两个小区,B1 区为已进行素土回填区域,B2 区为淤泥裸露区。B1 区按淤泥厚度不同分为 B1-1、B1-2、B1-3 区,分界线 RS 为淤泥的 7 m 等厚线,TU 为淤泥的 12 m 等厚线。B 区东北角 E 点为老杂填土区。各分区淤泥层厚度分别为:A 区 0.00 ~ 5.00 m,B1-1 区 3.00 ~ 7.00 m,B1-2 区 7.00 ~ 12.00 m,B1-3 区大于 12.00 m,B2 区 14.70 ~ 16.20 m。具体方案如下:

(1)A 区为杂填土区域,且杂填土较厚而淤泥较薄,上覆杂填土系无序堆填而成,含较多块石,且自重固结尚未完成,工程性质很差,对杂填土和淤泥均必须进行加固处理,设计采用强夯法进行加固处理。强夯单击夯击能设计为 5000 kN·m,点夯间距为 6.00 m 正方形网格状布置,夯坑回填材料采用碎块石料。强夯完成平整场地后普夯 2 遍,夯击能为 2000 kN·m。见图 2。

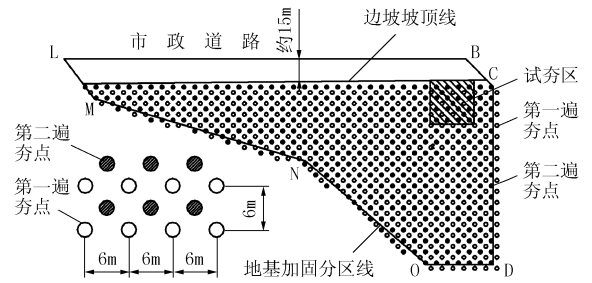


图 2 A 区加固平面图

(2)B 区为深厚淤泥区,采用插塑料排水板堆载预压法进行处理。插塑料板间距 B1-1 区为 1.20 m、B1-2 区为 1.10 m、B1-3 区和 B2 区为 1.00 m;预压荷载 B1 区采用 82 kPa(折合预压厚度为 4.50 m 厚开山石),B2 区 136 kPa(折合预压厚度为 7.50 m 厚开山石),回填土采用分层不碾压堆填,在达到卸载标准并卸载后采用普夯的方法对回填土进行一次性密实处理(见图 3)。

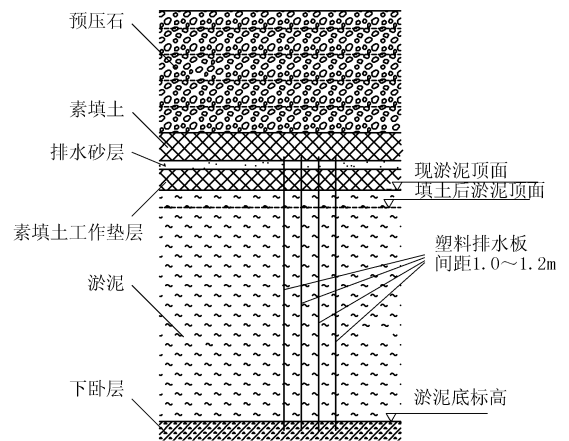


图 3 B 区加固剖面图

(3)图示东北角老填土区杂填土淤泥层较厚,且又须对上覆杂填土进行加固处理。直接进行插塑料排水板施工会很困难,而单一的强夯法对下伏淤泥层的加固效果很难保证,根据经验,该区域可采用引孔插板法或强夯碎石墩的方法进行地基加固,但从技术经济综合考虑,引孔插板法更为优越。因此采用引孔插板法对该部分进行处理。

3 主要施工方法

3.1 施工工艺流程

施工准备→场地平整→第一层土工布铺设→盲沟管及集水井安设→排水砂垫层施工→插塑料排水板→第二层土工布铺设→回填→堆载预压→卸载→强夯→场地平整。

3.2 主要施工方法

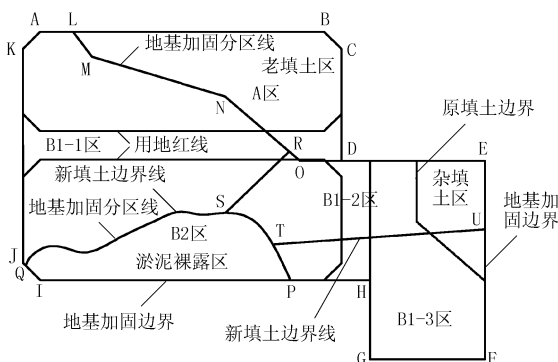


图 1 地基加固平面示意图

3.2.1 土工布铺设

土工布为纵横向搭接,搭接长度 ≤ 20 cm 满足设计和规范要求。

3.2.2 盲沟、集水井埋设安装

施工中主要采取如下方法:

(1)排水盲沟布置于砂垫层底部土工布上侧。

(2)盲沟材料采用塑料专用材料,主盲沟采用 $\varnothing 250$ mm,次盲沟采用 $\varnothing 200$ mm。

(3)集水井根据设计采用 $\varnothing 800$ mm 有孔水泥管,为了防止沉降,有孔水泥管底部铺设 1.50 m \times 1.50 m,2 cm 厚铁皮,用双向 $\varnothing 14@15$ cm 钢筋作肋,铁皮直接放在土工布上,集水井周围 50 cm 范围内用碎石回填,增加透水性。

3.2.3 砂垫层施工

根据施工现场实际情况,使用自卸式运砂船运砂卸载至最近施工区的施工场地,再用人工推斗车运往各填砂区,局部采用小型推土机进行散砂,区内砂垫层主要采用人工推斗车摊平铺设及进行整平。

3.2.4 插塑料排水板施工

B1 区采用振动插,B2 区采用静压插。塑料排水板采用 SPB - II 型。

B1 区加固方式为:原设计先铺 0.80 m 素土垫层,再铺设一层 200 g/m²的土工布,然后在土工布上填 0.50 m 厚砂垫层,再进行插塑料排水板施工;考虑到雨季施工,素土垫层施工难度大,效率低,将砂垫层加厚到 1.00 m。

3.2.5 回填施工

3.2.5.1 施工工艺流程

典型施工 \rightarrow 场地清理平整 \rightarrow 测量、绘制地形图 \rightarrow 铺设土工布 \rightarrow 上第一层素土 \rightarrow 推土机整平 \rightarrow 观测 \rightarrow 上第二层素土。

3.2.5.2 质量保证措施

(1)回填素土,不允许出现淤泥包,回填厚度确定后,再观测砂垫层隆起情况,如出现大的隆起必须暂停施工,修整回填素土厚度。

(2)回填时,第一层填出足够的面积后,再回填下一层,两层回填前沿线距离 ≤ 50 m。

(3)回填过程中,必须及时安装集水井且保证集水井安全,并保证回填区域内无积水。

(4)回填结束后,测量土面高程,检验厚度达到设计要求。

(5)回填施工要及时了解气象资料并结合分析当地历史气象资料,尽量在晴天连续施工。

(6)施工车辆线路布设尽可能采用井字形线

路。

(7)严禁采用大型自卸汽车,尽可能采用 5 t 自卸汽车作业。

(8)集水井周边施工采用挖土机配合施工。

3.2.6 堆载施工

施工中采用分层堆载,分层高度 ≤ 1.00 m。施工中应加强集水井和观测仪器保护,重车远离集水井 5.00 m 之外行走,由挖机配合推土机对集水井、观测仪器周边施工,堆载过程中始终确保集水井高出堆载标高 30 cm。同时堆载过程中应加强抽排水工作,以确保施工质量。

3.2.7 强夯施工

加强区域性排水工作,在施工区内开设了多条深浅不同的排水沟进行表面排水,同时在场地的四周开挖了深达 2.00 m 的总排水沟;对区域内的土层区别对待,局部(如淤泥裸露区、砂层裸露区等)无法满足施工条件的进行了换填处理。

4 地基加固效果评价

为了检验地基加固的效果,通过施工监测、土工试验、标贯试验和平板载荷试验对其进行了评价。

4.1 施工监测评价^[2]

4.1.1 根据设计结果和理论公式推算

根据改进的高木俊介法,淤泥的平均固结度 U 用下式表示:

$$U = 1 - \alpha e^{-\beta t}$$

上式可改写为:

$$\ln(1 - U) = \ln \alpha - \beta t$$

根据 Barron 解,向内径向排水固结情况下, $\alpha = 1$,则:

$$\ln(1 - U) = -\beta t$$

由此可知 $\ln(1 - U)$ 与 t 呈直线正比关系,故:

$$\ln(1 - U_1) / \ln(1 - U_2) = t_1 / t_2 \quad (1)$$

式中: U_1 ——设计固结度; t_1 ——设计堆载时间; U_2 ——推算固结度; t_2 ——实际堆载时间。

设计固结时间 B1 - 1 区为 360 天,B1 - 2 区为 275 天,B1 - 3 区为 229 天,B2 区为 229 天,固结度可达 95% 以上,场地最终沉降 810 ~ 2600 mm。

从实际施工情况看:B1 - 1 区平均固结时间 306 天,B1 - 2 区固结时间 276 天,B1 - 3 区固结时间 272 天,B2 区固结时间 295 天。

根据公式 1 计算,B1 - 1 区固结度为 92.2%,B1 - 2 区固结度为 95.5%,B1 - 3 区固结度为 97.4%,B2 区固结度为 97.9%。

$$s' = (1 - U)s_{\infty} \quad (2)$$

式中: s' ——剩余沉降, s_{∞} ——最终沉降。

由公式 2 求得,B1-1 区剩余沉降为 63 mm,B1-2 区剩余沉降为 77 mm,B1-3 区剩余沉降为 61 mm,B2 区剩余沉降为 55 mm,均小于设计要求值(300 mm)。

4.1.2 根据实测浅层沉降观测结果分析推算

按指数曲线配合法,推算最终沉降量 s_{∞} ,则

$$s_{\infty} = \frac{s_3(s_2 - s_1) - s_2(s_3 - s_2)}{(s_2 - s_1) - (s_3 - s_2)}$$

式中: s_1, s_2, s_3 ——满载预压后期对应时间 t_1, t_2, t_3 时的观测沉降值,分析时要求 $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$ 。

由此可计算出各浅层沉降观测点淤泥的最终固结沉降 s_{∞} 。根据各点实测沉降 s (计至观测截至日),可知剩余沉降 s' 和固结度 U 。

$$s' = s_{\infty} - s$$

$$U = s/s_{\infty}$$

以上推算分析可知场地内在预压荷载作用下,淤泥的固结度已达 95% 以上,剩余沉降在 50 mm 以下,场地沉降已基本稳定。

4.2 土工试验及标贯试验

经过效果检验,地基加固处理前后淤泥层各项主要物理力学指标统计对照如表 2 所示。

表 2 淤泥物理力学性质指标及层厚统计对照表

项 目	含水量 w/%	重度/(kN· cm ⁻³)	孔隙 比 e	淤泥层 厚/m	标贯击 数/击
处理后					
统计数	24	24	24	-	38
范围值	30.2 ~ 69.1	15.1 ~ 18.7	0.866 ~ 1.968	0.60 ~ 13.10	2 ~ 6
平均值	45.1	17.5	1.234	-	3.8
处理前					
统计数	24	24	24	-	55
范围值	41.2 ~ 97.6	14.0 ~ 18.3	1.079 ~ 2.679	0.40 ~ 18.50	0.7 ~ 4.0
平均值	60.3	15.7	1.673	-	1.3
变化幅度	平均值 -25.2%	+11.5%	-26.2%	-	+192.3%

由表 2 可以看出:淤泥含水量平均值为 45.1%,孔隙比平均值为 1.234,含水量较地基加固前降低了 25.2%,孔隙比降低了 26.2%,标贯击数提高了 192.3%。淤泥各项物理力学性质指标均有很大程度的改善,达到了预期的目的,效果检验显示,本次地基加固淤泥层固结效果达到了设计技术要求。

4.3 平板载荷试验

本场地共布置了 4 个平板载荷试验点,压板尺寸为 1.00 m × 1.00 m (1.00 m²),其中 ZHB1 布置在 A 区,ZHB2 布置在 B1-1 区,ZHB3 布置在 B1-2

区,ZHB4 布置在 B2 区(见表 3)。

表 3 载荷试验结果汇总表

试验 点号	压板 面积 A/m ²	最大试 验荷载 P/kN	最大沉 降量 s/mm	卸载后 残余沉 降量/mm	卸载后 回弹率 /%	承载力 特征值 /kPa	变形 模量 E ₀ /MPa
ZHB1	1.00	400	28.12	20.97	25.4	>200	13.25
ZHB2	1.00	400	9.91	7.32	26.1	>200	36.88
ZHB3	1.00	400	11.13	8.18	26.5	>200	30.04
ZHB4	1.00	400	6.16	4.45	27.7	>200	57.31

由表 3 可知场地地基经堆载预压和强夯法加固处理后地基承载力 > 200 kPa,满足设计要求。

5 结语

(1) 在空间分布不均匀软基加固工程中,根据不同的地质条件采用了堆载预压和强夯加固的方法,同时通过调整插板间距和预压荷载等设计参数,地基加固后的工后最大剩余沉降量 < 300 mm,整个场地固结度在 97.2% ~ 100% 之间,总平均固结度为 99.1%,地基承载力 > 200 kPa,淤泥层的排水固结时间充分,固结效果良好。这充分说明插塑料排水板堆载预压法对存在深厚淤泥的场地进行地基加固是经济而行之有效的方法,强夯对挤密浅层松散杂填土层并消除其工后沉降具有显著作用,同时大能量强夯有挤淤作用和对淤泥有动力固结作用。因此在工程应用中将两者相结合的软基处理方法取长补短,充分发挥各自的优势,具有重要的应用价值和推广意义。

(2) 在本次地基加固施工过程中,一些施工经验值得同类工程借鉴:如在软弱淤泥层上排水砂垫层的施工采用了人工铺填砂垫层的方法避免了场地积水和淤泥的不稳定性给施工带来困难;局部老杂填土地段引孔插板法很好地解决了插板施工困难的问题,满足了工程的需要;在淤泥包的处理过程中采用了在其周围换填一定深度的碎块石料后用强夯置换的方法,达到了良好的处理效果;挖隔震沟并预留一定的安全距离的方法很好地避免了强夯施工过程中对临近市政道路和管线设施的影响。

参考文献:

[1] 龚晓南. 地基处理技术与展望[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
[2] 黄东海,陈喆,全东梅. 宁波港北仑四期集装箱堆场地基处理方案设计[J]. 水运工程,2002,(10).