

· 地基与基础 ·



真空联合堆载预压技术 处理某堆场软基的效果分析

茅兵海, 刘 华

(中交二航局第三工程有限公司, 江苏 镇江 212021)

摘要: 介绍真空联合堆载预压技术在越南西贡国际集装箱码头堆载软基处理工程中的应用情况, 并对现场监测数据及加固后的检测结果进行详细分析。结果表明应用该技术加固越南南部地区的软弱地基是可行的, 且加固效果良好, 值得推广。

关键词: 真空联合堆载预压; 软土地基; 效果分析

中图分类号: TU 472

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2015)08-0151-04

Effect of vacuum-surchage combining preloading for soft foundation of container yard

MAO Bing-hai, LIU Hua

(The 3rd Construction Company of CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Zhenjiang 212021, China)

Abstract: This paper describes the application of vacuum-surchage combining preloading method in Saigon, Vietnam international container terminal, and analyzes the site monitoring data and test results. The results show that the application of this technology is feasible, and the consolidation effect on the soft ground is well and the method is worthy of spreading.

Keywords: vacuum-surchage combining preloading; soft ground; consolidation effect

越南南部河域潮滩资源丰富, 地处热带雨林气候, 河滩植物发达, 而且软土深厚, 具有含水量高、压缩性大、强度低等特点。该地区的软基处理常用的是堆载预压法, 但由于软黏土抗剪强度低, 且强度增长缓慢, 限制了加载速度, 尤其在雨季频繁出现滑坡事故。此外, 大面积施工时, 需要购置大量的堆载材料, 材料紧张、价格和工程成本增高。堆载预压加固完成后, 大量的堆载材料需要卸走, 对施工现场造成环境污染和干扰。

真空联合堆载预压法可有效减少工后沉降、解决加载过程中的稳定问题、提高加荷速率、缩短工期, 近年来在我国天津、广东、上海、江苏

等地区广泛应用。目前, 越南使用真空预压技术很少, 本文结合越南西贡国际集装箱码头堆载软基处理工程应用情况, 探讨真空联合堆载预压加固效果, 为设计和施工人员提供借鉴。

1 工程概况

越南西贡国际集装箱码头工程位于 Ba Ria-Vung Tau 省 Tan Thanh 地区 Thi Vai 河滩。工程软基处理面积约为 32 万 m², 分 13 个加固区。根据钻孔资料表明, 土层自上而下分别为: ①有机质土, 厚度约为 1.2 m; ②淤泥-淤泥质土, 厚度为 11 ~ 22 m, 流塑-软塑; ③粉砂层 (表 1)。

收稿日期: 2015-05-28

作者简介: 茅兵海 (1973—), 男, 高级工程师, 从事港口工程施工技术管理工作。

表1 软土层的物理力学指标

土层名称	$\omega/\%$	I_p	I_L	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	e	C_c	C_e	C_{cq}/kPa	$\psi_{cq}/(^{\circ})$	$C_v/(10^{-3} cm^2 \cdot s^{-1})$	$C_h/(10^{-3} cm^2 \cdot s^{-1})$
有机质土	67.8			1.63	1.732	0.489	0.063			0.723	3.361
淤泥	79.7	36.1	1.12	1.53	2.018	0.930	0.103	6.2	15.4	0.339	0.650
淤泥	70.2	35.8	0.86	1.60	1.836	0.788	0.096	14.7	13.4	0.349	0.552
淤泥	60.9	30.6	0.41	1.67	1.570	0.619	0.082	20.7	18.5	0.393	0.568
粉砂	21.3			1.98	0.632						

软基处理前挖除表层有机质土后回填中细砂约 1.2 m 和中粗砂垫层 0.6 m。原设计采用堆载预压（超载 1.5 ~ 2.5 m）进行软基处理，考虑到工期、岸坡稳定、需要堆载材料量大等因素，后采用真空联合堆载(2.5 ~ 3.5 m)预压进行软基处理，替代原堆载预压方案。塑料排水板间距为 1.2 m，三角形布置，打设深度约为 12.5 ~ 23.5 m，周边采用双排淤泥搅拌桩作为密封帷幕，搅拌桩单桩直径 700 mm，成墙时彼此搭接 200 mm，桩距 500 mm，打设深度为穿透吹砂层并进入不透气层 500 mm，深度约为 4 ~ 7 m。为了解真空预压加固效果，指导后续大面积软基处理设计和施工，软基处理期间对第一个加固区进行了较全面的监测和检测。

2 加固机理

真空预压法是瑞典皇家地质学院杰尔曼^[1]提出的加固软土地基方法，随后美国、日本等国家进行了试验研究，然而由于抽气设备、密封材料及竖向排水通道等方面不过关，在很长时间内该方法难以应用到工程实践中。直到 20 世纪 80 年代，交通部第一航务工程局、天津大学、南京水利科学研究院土工所等^[2]对真空预压加固软土地基机理进行了一系列的研究，利用射流泵代替原来的的气水分离真空泵，使抽气的效率大大提高，真空预压技术在国内得以广泛应用。

真空预压是在软基上覆盖一层不透气的膜与大气隔绝，通过膜内抽真空形成压差，这部分气压差就相当于作用在地基上的荷载。其原理是在总应力基本不变的情况下，降低孔隙水压力，增加有效应力，使土体在有效应力的作用下得到加固。真空联合堆载预压通过真空压力（负压）和

堆载（正压）使土体中的孔隙水压力产生不平衡的水压力，孔隙水压力在这种不平衡力作用下通过竖向排水体逐渐向外排出，使土体发生固结变形。真空联合堆载预压法则充分发挥了真空预压与堆载预压各自的特点，具有荷载量大、加载时间短、加固效果明显等优点，是一种较理想的加固软土地基方法。

3 监测结果及分析

3.1 地表沉降观测结果分析

在真空联合堆载预压期间 FP1 区各测点沉降-时间曲线见图 1。插设塑料排水板期间的沉降量约为 0.15 m，沉降量较小。本工程的软土均为原状土，稍超固结状态，而换填砂及吹填中粗砂垫层后地下水位高，附加荷载不大，插板后至开始抽真空时间约为半个月，短时间内的沉降较小。软基处理期间地表沉降为 162 ~ 206 cm，在抽真空初期和加载初期地基的沉降速率较大，随着时间的延长，沉降速率逐渐变缓。卸载前利用 Asaoka 法^[3]计算的平均固结度达到 85%，经计算使用荷载作用下工后沉降为 19.7 cm，满足设计要求。

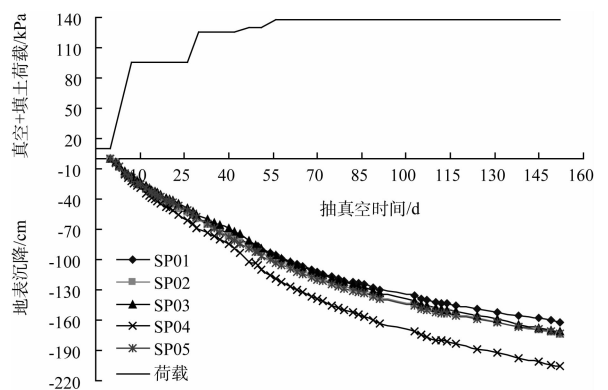


图1 FP1 区地表沉降-抽真空时间曲线

3.2 孔隙水压力观测结果分析

FP1 区中心点孔隙水压力消散时程线见图 2, 各孔压计的埋设深度分别为软土层顶面以下 2、4、7、12、15、19 m, 从图 2 可以看出, 开始抽真空后孔压快速下降, 每级联合堆载, 孔压又快速上升, 恒载期间孔压呈缓慢下降趋势, 临近卸载孔压降为 10~54 kPa。埋深 19 m 的孔压埋设在粉砂层, 开始抽真空后便下降至 50 kPa 以下, 主要原因是部分塑料排水板穿透了软土层并进入砂层, 造成粉砂层水被抽出。塑料排水板进入下卧砂层可以形成双面排水, 加速软土排水固结, 但由于粉砂层与外界连通, 外界水源源不断补给, 真空度将受影响, 严重的还可能影响加固效果。

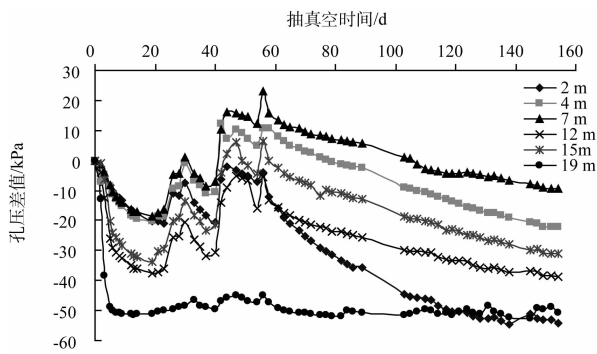


图 2 FP1 区孔压差值-抽真空时间关系曲线

3.3 地下水位监测结果分析

图 3 为 FP1 区中心点处的地下水位降-抽真空时间曲线。水位管滤管段顶端位于软土层顶面以下 2 m, 滤管段长 11.2 m。抽真空后, 地下水位快速降低, 在联合堆载期间地下水位小幅度波动, 恒载期间地下水位呈缓慢降低趋势, 临近卸载地下水位降稳定在 4.0 m 左右。

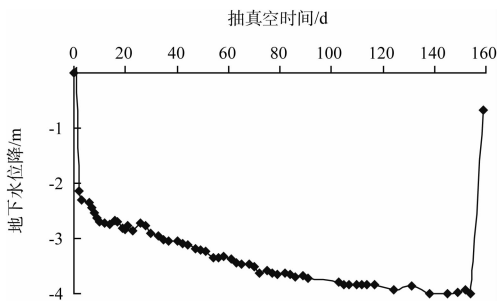


图 3 FP1 区水位降-抽真空时间关系曲线

4 加固效果检测及评价

4.1 加固前后现场静力触探试验、十字板试验结果分析

图 4 为 FP1 区加固前后的十字板剪切试验结果。经真空联合堆载预压处理后, 软土层的强度大幅度提高, 平均由原来的 21.3 kPa 增加到 36.4 kPa, 增长 70%。软土层顶以下 3~5 m 处加固后的剪切强度仍较低, 与土层的性质有关。根据加固前的土工试验报告表明, 该位置的软土含水率达 82.5%, 液限为 88.1%, 塑性指数为 49.9, 软土物理指标较其它位置差, 加固后强度增长较其它深度低。

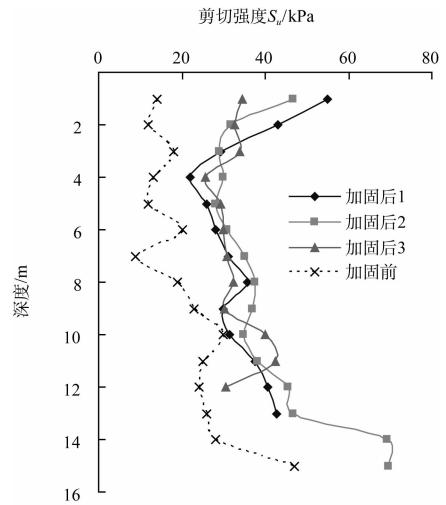


图 4 FP1 区加固前后剪切强度对比

图 5 为加固前后的端阻力对比, 由图 5 可见, 沿深度内的软土层的端阻力均有较大的提高, 端阻力增加的幅度随着深度增加而减小。加固前软土层的端阻力为 0.071~0.609 MPa, 加固后软土层的端阻力为 0.307~0.943 MPa, 平均增长 52%, 加固效果显著。与十字板剪切试验结果对应, 软土层顶以下 3~5 m 处加固后的端阻力较低。

4.2 加固前后钻孔取样土工试验结果分析

FP1 区的中心点进行了加固前、后的钻孔取样。加固前后土体的各项物理力学指标见图 6。加固后原状淤泥的含水量降低 18%, 孔隙比减小 19%, 湿密度增加 5%, 液性指数降至 0.32~0.73。由此可见, 加固后软土层物理指标大幅度改善, 加固效果显著。

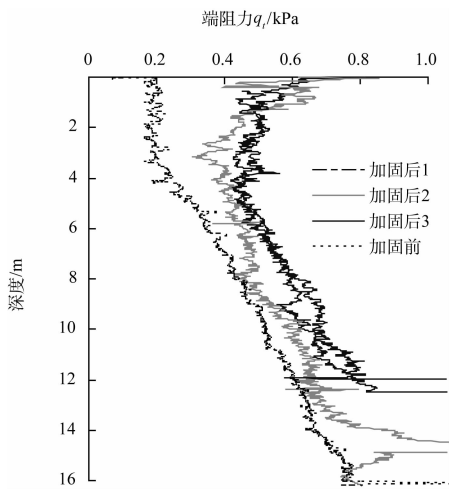


图5 FP1区加固前后端阻力对比

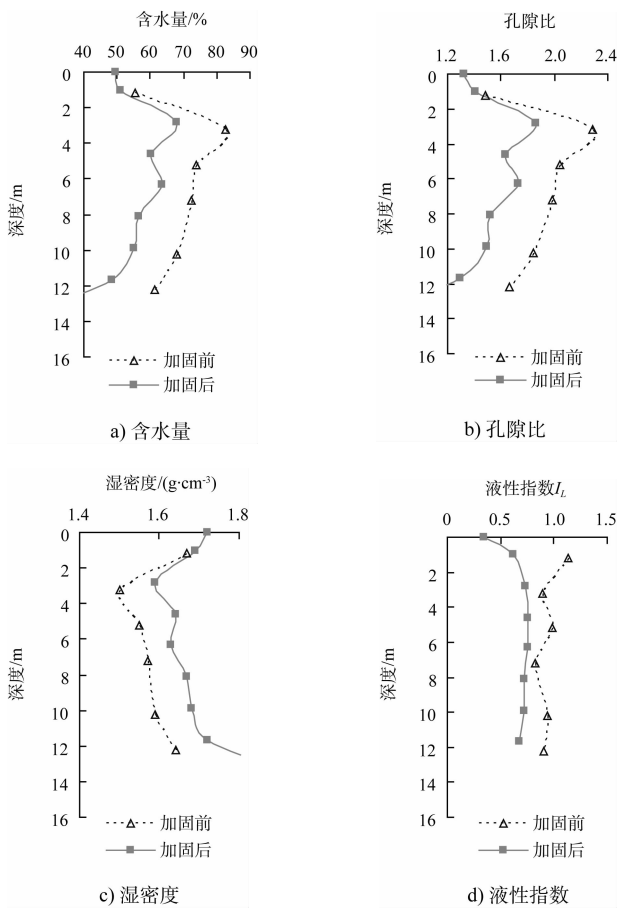


图6 加固前后土体的物理力学指标对比

5 结语

1) 采用真空联合堆载预压加固软土地基, 不仅使土体在较短的时间内固结, 而且产生向内的收缩变形, 有利于岸坡稳定, 提高了填土速率, 缩短了工期, 带来明显的经济效益。

2) 分析施工过程中的相关数据, 可以得到以下一些结论: 对于软黏土地层采用 Asaoka 法计算地基固结度是合适的; 抽真空前, 可通过孔隙水压力的变化来初步判断抽真空区的密封性, 如果存在异常变化, 需分析可能的原因, 本文描述的情况显示, 软基下卧层或中间存在透水性砂土层, 可能会加速地基处理进程, 但也可能影响真空预压的效果; 通过固结度和沉降分析是评价软基处理效果的主要手段, 但还应通过处理前后的地基土的原位试验和实验室试验结果进行综合评价。

3) 通过对孔隙水压力、地表沉降、土体深层分层位移、地下水位的现场测试数据分析, 以及加固前后的静力触探、十字板剪切试验和钻孔取样室内试验结果的分析表明: 真空联合堆载预压法适用于越南西贡地区河滩软基加固处理, 并且加固效果良好, 可以为类似的大面积软基处理工程提供有益的理论 and 数据支持。

参考文献:

[1] Kjellman W. Consolidation of clay by means of atmospheric pressure[C]. Proc Conference on Soil Stabilization MIT. Boston: 1952.

[2] 姜炎. 真空排水预压法加固软土技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.

[3] Asaoka A. Observational procedure of settlement prediction [J]. Soils and Foundations, 1978, 18(4): 87-101.

(本文编辑 武亚庆)