

某试验区吹填软基处理工程监测数据分析

陈昌富, 李树伟, 张晓欣
(中航勘察设计研究院, 北京 100098)

摘要:结合真空预压法处理大铲湾港区一期工程闸口吹填软土地基工程中的监测数据,通过理论分析对真空预压法加固软基过程中地表沉降、真空度、孔隙水压力等的变化规律进行深入分析研究,其结论具有重要意义。

关键词:吹填软基;真空预压;监测数据分析

中图分类号:U655.54⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-7428(2009)07-0046-04

Analysis on Monitoring Data of Vacuum Preloading in Improving Soft Subsoil/CHEN Chang-fu, LI Shu-wei, ZHANG Xiao-xin (AVIC Institute of Geo-technical Engineering, Beijing 100098, China)

Abstract: Based on the monitoring data of soft soil foundation construction engineering with vacuum pressure method, the paper made theoretical analysis on variation rule of ground settlement, vacuum level and pore-water pressure with important conclusion.

Key words: dredging-reclamation; vacuum preloading; analysis on monitoring data

试验区为人工吹填陆域形成工程,采用一次围堤,利用码头一期工程港池航道开挖疏浚砂土整体吹填形成,试验区软基处理采用真空预压法。试验区安装埋置监测仪器,本文通过对监测数据进行深入分析,总结抽真空后加固区土体变形特点、孔压变化规律,研究真空预压法加固软基的效果。

1 吹填软基概述

1.1 吹填软基的结构形式

吹填工程基本可以分成砂被、围堤和堤内吹填3个主要过程。吹填工程结构形式见图1。

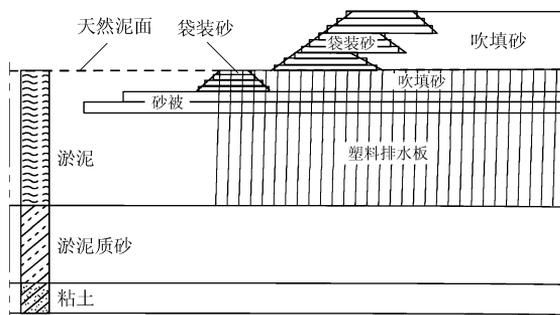


图1 水域吹填工程示意图

1.2 吹填区地质特点

1.2.1 海相地质特点

填海区域内海面以下的场地土质由上而下为淤泥和残积粘土层,其中淤泥层又可分为面层流泥、中层淤泥和淤泥质砂。其中面层流泥绝大部分在吹充

砂被时被挤压到砂被棱体两侧,可以忽略不计。中层淤泥含水量高(局部含少量中粗砂),颗粒极细且具滑腻感,可见大量的贝壳碎片,流塑状,强度低,压缩性高,欠固结,局部由于受吹填土挤淤作用其厚度发生变化;下层淤泥质砂饱和、可塑偏软塑、压缩性高。淤泥层厚度垂直海岸线方向由陆向海有缓慢增厚的趋势,底板标高亦逐渐降低。其下残积粘土层局部含少量细砂,湿,硬塑,为花岗岩风化残土层。由此可以看出,海相淤泥的失水固结是成陆后地基处理的关键所在。

1.2.2 吹填土土质特点

吹填砂原状土基本为粉质粘土、粗砾砂和砂质粘性土,经扰动后,其性质已较原状土特性有很大改变,其含水量增高,压缩性较原状土高,渗透稳定性差,属于欠固结土。

2 试验区软基处理的工程设计

真空预压法施工如图2所示。

基本设计参数:正方形布置塑料插板,间距为1.0 m。插板穿透所要处理的软土层,并进入下卧的粘土1.0 m,上端高出排水砂垫层20 cm;每800 m²设置连接一台射流泵,真空泵在卸载前一直工作,保持膜下真空度>85 kPa;要求交工时软基固结度>85%。

收稿日期:2009-06-01

作者简介:陈昌富(1965-),男(汉族),湖北钟祥人,中航勘察设计研究院院长、高级工程师、国家注册岩土工程师、监理工程师,岩土工程/管理科学与工程专业,博士,从事岩土工程技术与管理工作,北京2411信箱院办, aigecef@163.com。

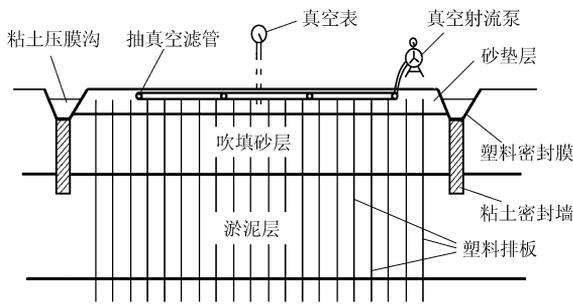


图2 真空预压法示意图

3 监测仪器的布置

试验区安装的监测仪器见表1,试验区形状及监测仪器布置见图3,监测仪器埋设剖面图见图4。

表1 监测仪器统计表

仪器名称	数量	型号
地表沉降标	24个	CJ12 - CJ35
孔隙水压力传感器	1组(5个)	K2
磁性分层沉降仪	1组(7个)	F2
射流真空泵	30个	-
真空表	6个	MY1 - MY6

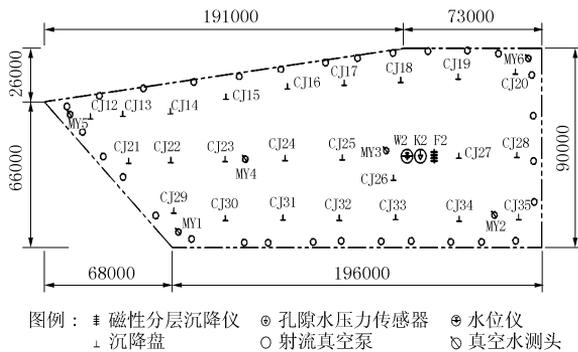


图3 试验区形状及监测仪器布置图

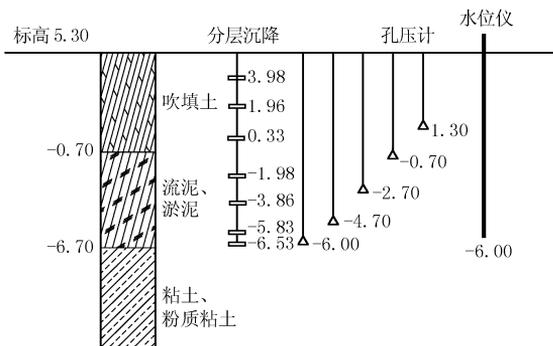


图4 监测仪器埋设剖面图

4 监测结果分析

4.1 真空度

由图5可以看出,全区真空度很快达到了85

kPa,但稳定性并不是很好,频繁地出现波动,这可能是由于真空射流泵故障停工或者密封膜漏气引起的。真空度的不稳定使数据的参考性下降,使以后的工程效果分析受到影响。各真空表显示的膜下真空度,其最大值、最小值之差均在3 kPa以内,说明全区加荷是较均匀的。

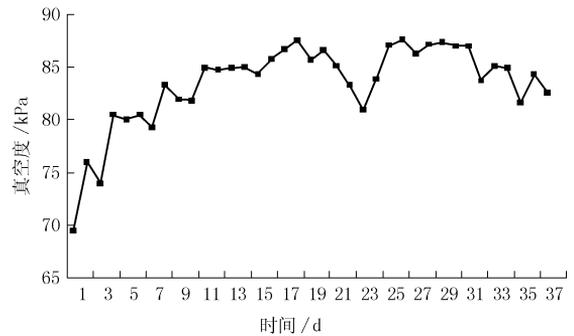


图5 I区平均真空度曲线图

4.2 地表沉降

地表沉降观测是软基沉降分析的关键,也是加固效果最直接的表现。沉降资料统计见表2、图6~8。

由图6可见,加固区土层在施加真空后逐渐被压缩,从地表沉降累计值不断增加的趋势看,真空预

表2 I区各沉降标地表沉降量统计表

沉降标编号	累计观测天数/d	累计沉降量/mm	最大沉降速率/(mm·d ⁻¹)	平均沉降速率/(mm·d ⁻¹)
CJ12	37	298	41	8.1
CJ13	37	416	65	11.2
CJ14	37	425	46	11.5
CJ15	37	369	53	10.0
CJ16	37	300	57	8.1
CJ17	37	477	55	12.9
CJ18	37	435	53	11.8
CJ19	37	451	68	12.2
CJ20	37	477	84	12.9
CJ21	37	322	44	8.7
CJ22	37	421	48	11.4
CJ23	37	445	53	12.0
CJ24	37	314	64	8.5
CJ25	37	511	70	13.8
CJ26	37	462	60	12.5
CJ27	37	174	64	4.7
CJ28	37	297	88	8.0
CJ29	37	317	45	8.6
CJ30	37	321	47	8.7
CJ31	37	203	81	5.5
CJ32	37	675	53	18.2
CJ33	37	390	54	10.5
CJ34	37	214	62	5.8
CJ35	37	446	68	12.1

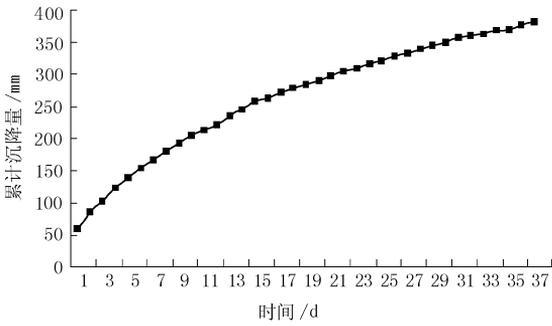


图6 地表累计沉降随时间变化曲线

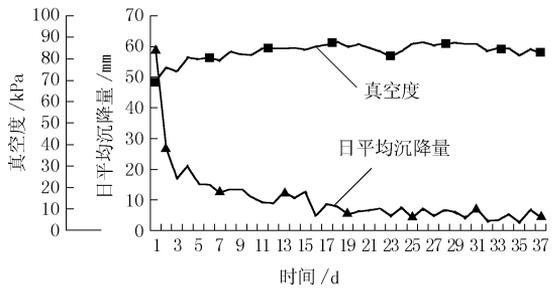


图7 地表日平均沉降量-表层真空度随时间变化曲线

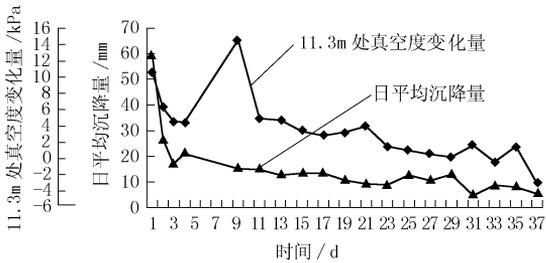


图8 地表日平均沉降-深层真空度随时间变化曲线

量总体上比处于边缘的各点沉降量大 200 ~ 300 mm, 呈现整体加固区的土体向场内收缩, 由此可见真空预压在保证地基稳定方面效果显著。最大沉降量发生在 CJ32 点为 675 mm, 联系真空前的一些钻孔资料, 该处底层淤泥厚度较大, 经排水固结后沉降也较大。

由图 7 可见, 整个预压过程的沉降变化速度是逐渐收敛的, 并受真空度的波动影响, 平均沉降速度最大时(59.3 mm/d)发生在抽真空的初始阶段, 主要是由于土体受负压作用初期, 孔隙中大量的自由水、气在很短的时间内被抽走, 地基土的有效应力快速加大, 发生了较大的变形。但是从图 8 中发现, 随着土体发生了一定程度的固结后, 孔隙中的自由水、气基本上被抽走, 孔隙中承担外力的逐渐转为弱、强结合水, 这部分水很难被负压吸走, 并且由于土体渗透系数的减小和井阻的增大等各方面原因, 真空度向下扩散的速度也逐渐减慢, 因此固结沉降的速度也逐渐减慢。

4.3 孔隙水压力

孔隙水压力是了解地基固结状态及加固效果的最直接的手段, 加固区中心处各深度处的孔隙水压力变化曲线如图 9、10 所示。

从图 9、10 可以看出:

(1) 各测点的孔压初始值基本同地下水位压力值, 抽真空开始, 孔压有一个明显的下降过程, 由于排水通道的阻力使得真空度向深层传递过程中受到损耗和延缓, 孔压的下降幅度沿深度减小;

(2) 随着抽真空时间的增加, 在浅部埋深 4 m 处的孔压计显示负的孔隙水压力, 抽真空在土体内

压土体仍在固结, 但是固结的速度逐渐减慢。

由表 2 可见, 在加固区中心范围内各点的沉降

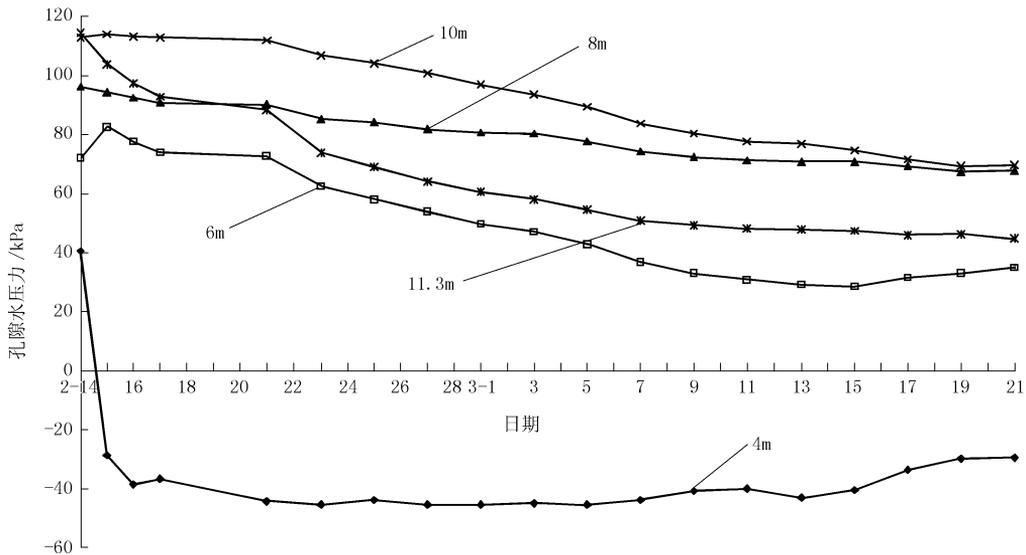


图9 各深度处的孔隙水压力随时间变化曲线

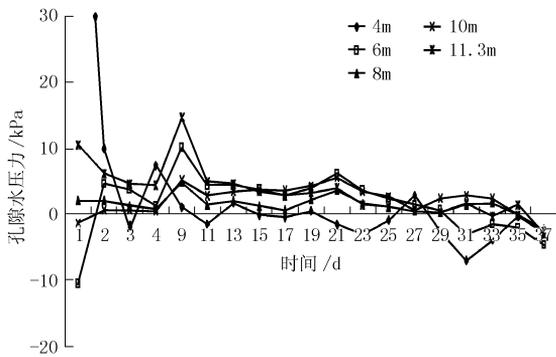


图 10 各深度孔隙水压力的变化量随时间的变化曲线

部形成了一定的负压,由 6 m 处的孔压可知地下水埋深应当在 3 m 以内,该处尚在水位以下,所以该处的孔隙水压力值实质上是反映了该处的水压和大气压差之和;

(3)埋深 6、10 m 处的孔压计在地下水水位线以下,孔隙水压力的消散主要是由水位的下降所引起的,真空度引起的孔隙水压力消散相对较小;

(4)通过 6、10 m 处的孔隙水压力的变化可发现 8 m 处的孔隙水压力测量值要大于实际值,所以 8 m 处的孔压计可能在安装的过程中损坏;

(5)埋深 11.3 m 的孔隙水压力下降值相对较大,这可能是由于钻孔打斜导致孔压计埋设的部位靠近塑料排水板,不过由此可以看出真空负压能够随塑料排水板传播到地下水水位以下较深的土层;

(6)从埋深 11.4 m 以浅的孔隙水压力消散情况来看,浅部 4 m 处的孔隙水压力消散值稍大于深部的孔隙水压力消散值,沿深度方向淤泥中的孔隙水压力消散值基本上相同,主要是由于地下水位下降

引起,真空度引起的孔隙水压力消散值相对较小;

(7)各测点的孔压变化量明显小于理论值,在抽真空阶段浅层土体的真空度 > 80 kPa,但孔压变化量只有 40 kPa 左右,因为随着抽真空的持续,土体中的大量自由水和气排出,孔隙体积减小,颗粒之间接触面积增加,并逐渐达到不可忽略的程度,此时有效应力大于理论上的有效应力,在总应力不变的条件下,实测的孔压必然小于理论值;

(8)在假定总应力不变的情况下,淤泥地基中的孔隙水压力消散值即为地基中有效应力的增加值;

(9)随着土体的固结,各深度孔隙水压力的变化速度逐渐降低,逐渐趋近于 0,说明加固区的渗流变化趋于稳定,地下水位不再变化,真空度与井阻力基本平衡。

4.4 分层沉降

通过分层沉降的观测可直接了解地基不同土层的沉降量和固结程度以及加固达到的有效深度,为计算沉降的研究提供验证资料,加固区中心断面的分层累计沉降资料分析见表 3、图 11。

表 3 分层沉降量分析表

地表总沉降 /mm	磁环编号	沉降环标高 /mm	沉降环初始标高 /mm	沉降环间距 /mm	累计沉降值 /mm	磁环间压缩量 /mm	单位压缩量 / (cm 压缩量 · m ⁻¹)	占总压缩量比
511	1	3508	3973	3508	465	46	1.31	0.09
	2	1510	1958	1998	448	17	0.85	0.03
	3	-434	-33	1944	401	47	2.42	0.09
	4	-2262	-1979	1828	283	118	6.46	0.23
	5	-4023	-3875	1761	148	135	7.67	0.26
	6	-5927	-5831	1904	96	52	2.73	0.10
	7	-6620	-6533	693	87	9	1.30	0.02

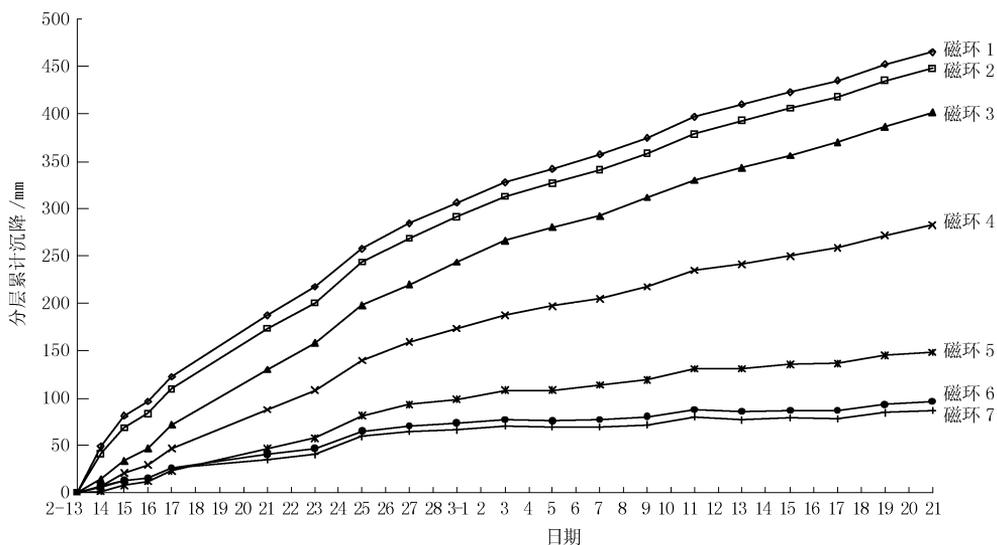


图 11 分层累计沉降随时间变化曲线

表1 大水灰比深搅桩与常规深搅桩施工工艺的主要区别

施工工艺	常规深搅桩	大水灰比深搅桩	施工工艺	常规深搅桩	大水灰比深搅桩
施工方法	干法、湿法	湿法	起吊提升高度/m	14	>22
施工机械	SJB-1型搅拌机	ZKD65-3型搅拌机	一次加固面积/m ²	0.71~0.88	0.866
搅拌轴形式	二轴	三轴	最大加固深度/m	10	25
搅拌叶片外径/mm	700~800	650	加固单桩所需时间/min	/	54~68
电机功率/kW×台数	30×2	55×3	起吊提升速度/(m·min ⁻¹)	0.2~1.0	<1.2
下沉速度/(m·min ⁻¹)	≤0.75~0.38	≤0.8(喷浆下沉)	喷浆提升速度/(m·min ⁻¹)	≤0.5	≤1.2
水泥标号	425以上	325以上	水灰比	0.45~0.55(湿法)	1.3~1.5(湿法)
水泥搅拌时间/min	>2	>2~3	水泥掺入量	被加固湿土重的10%~15%或每立方米被加固软土掺入水泥180~250kg	被加固湿土重的15%(20%)或每立方米被加固软土掺入水泥230~250kg
喷浆量情况	连续喷浆、第一次喷浆为70%,第二次为30%(针对2次喷浆)	连续喷浆(下沉、提升喷浆各为50%)	注浆泵出口压力/MPa	距离地面2m时,喷浆压力<0.3	0.4~0.6
搅拌、喷浆次数	1次喷浆2次搅拌或2次喷浆3次搅拌	2次喷浆2次搅拌	钻头每钻一周的提升或下降量/mm	/	10~15
桩顶喷浆情况	停止提升、搅拌数秒	停止提升、搅拌数秒	桩底喷浆情况	停止提升、搅拌30s	桩底部2m处重复搅拌,速度0.8m/min
			喷浆停止时间	高出设计标高300~500mm	高出设计标高500mm

[3] GB 50202-2002, 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].

[4] DGJ 08-11-1999, 地基基础设计规范[S].

[5] DBJ 08-40-94, 地基处理技术规范[S].

参考文献:

[1] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].

[2] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].

(上接第49页)

从图11可以看出,在施加真空阶段,各磁环的沉降有明显的增大过程,随真空的进行沉降速度逐渐变小,趋势基本同表面沉降,各磁环的沉降量随深度的增加而递减,磁环之间土层的沉降比较均匀。

从表3可见,单位压缩量最大发生在磁环4、5之间,它们所处淤泥层上部,说明淤泥层在受到真空压力后,压缩固结效果明显;吹填砂层和淤泥层基本等厚,并且所受真空压力相对较大,但是产生的压缩量小于总压缩量的25%,吹填砂层的孔隙度和压缩系数都较淤泥小,淤泥层才是真空预压处理的主要部分;淤泥底层压缩量小,结合深层孔隙水压力的表现,真空度能够对深层土体施加影响,但是目前的真空压力在深层土体内的强度较小,随着加固时间的增长,淤泥层的深层土体的单位压缩量将逐渐增大。

5 结论

根据现场的监测资料,分析了抽真空后加固区土体变形特点、孔压变化规律。结果表明真空预压在加快土体固结、保持土体稳定性方面有很大的优势。但是真空预压法也是有其局限性的,其浅层土体的沉降量大于深层土体的沉降量,则加固后的软基深层土体强度增长不如浅层。

参考文献:

[1] 朱建才,温晓贵,龚晓南. 真空排水预压加固软基中的孔隙水压力消散规律[J]. 水利学报, 2004, (8): 123-128.

[2] 高志义. 真空预压法的机理分析[J]. 岩土工程学报, 1989, 11(4): 45-55.

注:本文还参考了《大铲湾港区一期工程闸口试验区地基处理监(检)测大纲》(中交水运规划设计研究院, 2005)。