

充水预压法加固油罐软土地基数值分析

隆 威¹, 梁专明^{1,2}

(1. 中南大学, 湖南 长沙 410083; 2. 湖南省勘测设计院, 湖南 长沙 410014)

摘要:利用有限差分程序 FLAC^{3D}对充水预压法加固油罐地基进行了数值模拟,详细分析了大型油罐地基的变形特性及形状,得出了一些有用结论,并将结果和监测数据进行了对比分析,显示了很好的一致性。

关键词:软土地基加固;充水预压法;固结沉降;FLAC^{3D};数值分析

中图分类号:TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)06-0044-03

Numerical Simulation of Water Filling Preloading for Reinforcement of Oil Tank Soft Ground/LONG Wei¹, LIANG Zhuan-ming^{1,2} (1. Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 2. Hunan Insistute of Survey and Design, Changsha Hunan 410014, China)

Abstract: Numerical simulation was made on water filling preloading for reinforcement of oil tank foundation by finite difference program FLAC^{3D}, and analysis was made on the deformation characteristics and the shape of large oil tank foundation. Comparison was made on the result and monitoring data with very good uniformity.

Key words: soft ground reinforcement; water filling preloading; consolidation settlement; FLAC^{3D}; numerical analysis

0 引言

长岭炼油化工有限公司新油库区一油罐为 40000 m³ 的外浮顶圆储罐,直径 52.0 m,采用钢筋砼环墙式基础,环墙高 2.4 m,环内为现浇钢筋砼整板,罐体高度 19.5 m,最大设计液位 17.85 m。设计要求地基土的承载力设计值达 200 kPa,该油罐工程软土地基已进行塑料板排水处理,地基承载力虽有大幅提高,但仍达不到上部荷载要求,需进一步加固地基。

目前,大型油罐地基处理方法众多(换填法,深层搅拌桩法,振冲碎石桩法,塑料板排水,充水预压法等),其中充水预压法则是加固地基行之有效的

方法^[1-4],其原理为在罐体内进行分级充水作为预压荷载,使地基土的固结压力增加、孔隙水排水而逐渐固结沉降,使油罐基础的沉降在充水预压期间基本完成。本文利用有限差分程序 FLAC^{3D}对充水预压法进行了数值模拟,并结合工程监测数据进行综合对比分析。

1 参数选择及模型建立

据勘察资料可知,该油罐工程地基土中含有厚约 7 m,强度较低的淤泥质土层,其场地岩土工程条件及各土层力学指标如表 1。

图 1 是储油罐的 FLAC^{3D} 模型,模型共划分为

表 1 各土层物理力学性质参数

土层名称	土层标高/m	含水量/%	密度/(g·cm ⁻³)	孔隙比	塑性指数	压缩模量/MPa	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)
杂填土	0 ~ -2.0	28.4	18	0.84	13.5	6.1	13	18.5
淤泥质土	-2.0 ~ -7.0	39.2	17.5	1.18	14.3	3.6	5	19.2
淤泥质粘土	-7.0 ~ -9.0	50	17.3	1.37	24.1	2.4	12	8.5
粉细砂	-9.0 ~ -11.0	-	18.8	0.67	-	16.4	7.5	24.7
粉质粘土	-11.0 ~ -15.0	32.2	18.1	0.65	14.2	10.4	15.8	15.9
残积土	-15.0 ~ -18.0	-	19.1	0.54	-	38.6	18.0	22.1

7095 个单元,共采用 3 种本构模型:油罐基础采用弹性模型,为柔性基础;淤泥质土及淤泥质粘土采用修正剑桥模型;杂填土、砂垫层、粉细砂、粉质粘土及残积土采用摩尔-库仑模型。其中,在砂垫层和油

罐基础及基础和杂填土之间设置接触面单元。

在充水预压加荷过程中,必须要保证软土地基的稳定性。这需要根据油罐容量大小、结构型式和土工指标等算出作用于地基上的外加荷载和固结

收稿日期:2009-03-26

基金项目:中国地质调查局资助项目“江汉-洞庭湖平原构造沉降 GPS 监测及专题研究”(编号:200312300026)

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,从事岩土工程治理研究与教学工作,湖南省长沙市,lwzndx@sina.com。

度、地基强度增长计算及整体、局部稳定验算。同时,加荷速率和实测地基沉降速率也是必要的辅助措施。本工程充水预压加荷图如图2。

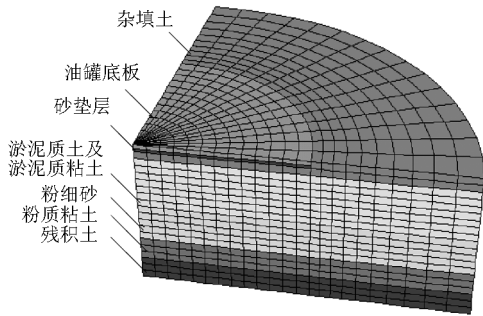


图1 油罐软土地基模型

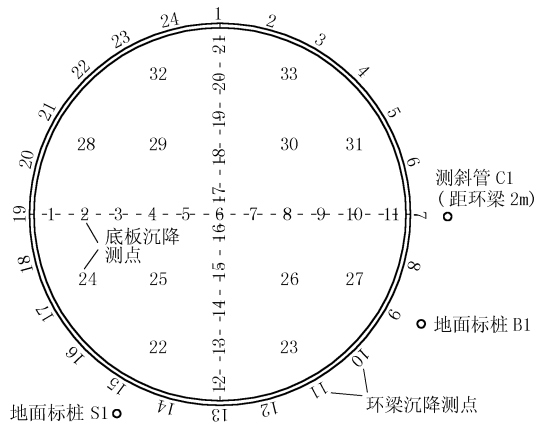


图3 监测平面布置图

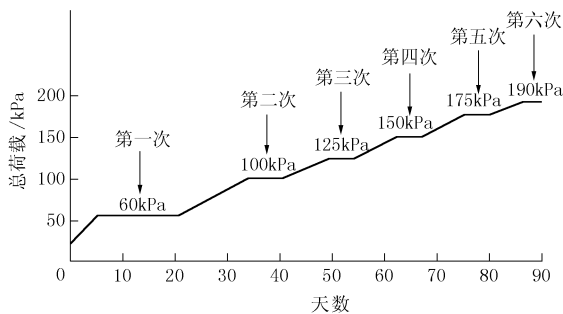


图2 油罐充水预压加荷图

油罐基础右半侧6~11号实测沉降曲线及模拟曲线图,图5为油罐基础最终位移等值云图。

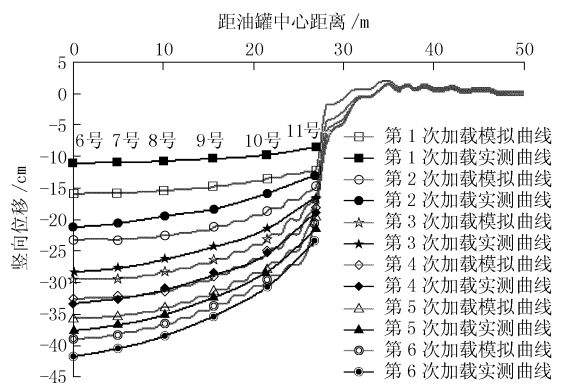


图4 基础沉降曲线图

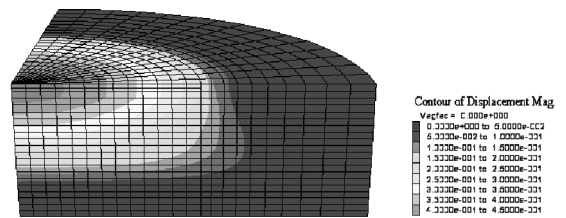


图5 竖向位移等值云图

2 监测布置

充水预压法地基处理的关键在于对加固地基的动态监测。根据充水预压方案设置原位动态监测系统,对地基的应力、变形和强度的变化进行动态监测,及时控制加荷速率,防止地基的剪切破坏、地表隆起过大。

根据《石油化工钢储罐地基充水预压监测规程》(SHT 3123 - 2001)和设计的要 求,结合油罐现场的实际情况,在油罐直径 52.0 m 的范围内,布设了 24 个锥面沉降观测仪和 11 个土压力盒,观测仪的顶面距油罐的底板仅为 200 ~ 300 mm,可认为所测得的沉降即为该处油罐底板的沉降。此外,在油罐周边土体中还布设了 1 个深 25 m 的测斜管 C1,以测定深层土的径向水平位移。在油罐周边的地面上设置了 B1 和 S1 标桩系,以测量油罐周边地面的垂直和径向水平位移。在油罐基础环梁的周边布设了 24 个沉降观测点。监测平面布置图如图 3。

3 计算结果及分析

3.1 基础沉降分析

图4为油罐基础在充水预压反复荷载作用下,

由图4、5可知,有以下几个特点。

(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)随着充水预压荷载增大,基础变形则相应增大,并且基础中心部分变形速率较边缘部分变形速率大,进而使“碟形”愈加明显。

(3)油罐地基边缘的沉降曲线较陡直,随着距油罐地基中心距离的增加而变得平缓,在距地基边缘 7.5 m 以外,“碟形”边缘高出原地面,地表土发生轻微隆起现象,最大隆起量为 2.8 mm,这是软土地基上建造大型油罐充水预压加固地基地表土变形最显著的特征。

(4) 沉降曲线“碟形”中心沉降接近 38 cm, 与实测值有较大差别, 但沉降曲线整体分布与实测曲线保持一致, 这主要与数值模拟所取物理参数有关。本工程油罐建造在软土地基上, 虽经塑料板排水处理地基, 但经充水预压后, 仍有较大地基变形, 最大最小沉降差约 15 cm, 表明对油罐经充水预压后沉降情况比较理想, 地基加固效果较好。从图可看出, 充水前虽然基础经过半年时间的沉降, 但油罐约 70% 的沉降是在充水和恒压期发生的, 这说明地基强度的提高主要是通过分级加荷来达到的。

3.2 侧向位移分析

图 6 为油罐软土地基深层土体水平侧向位移与深度关系曲线图, 反应了深层土体水平侧向位移与深度之间的变化趋势。地表以下 0 ~ 1.5 m 为油罐基础埋深位置, 故水平侧向位移较小; 最大水平侧向位移发生在地表以下 5.5 ~ 6.5 m 处, 位于淤泥质土及淤泥质粘土层, 从图中很容易看出, 水平侧向位移也主要集中在淤泥质土层, 这主要与该土层的抗剪强度较低、压缩模量较小、压缩系数较高、孔隙率大、含水量高等物理力学性质有关。在地表以下 9.0 ~ 14.0 m 土层为粉细砂层和硬塑状粘土层, 抗剪强度和压缩模量较淤泥质土层大大增加, 此处水平侧向位移呈现快速递减规律; 再往下, 土层为残积土层和强风化岩, 水平侧向位移相当小, 据此可判断出水平侧向位移的影响深度大致为 18.0 ~ 20.0 m。

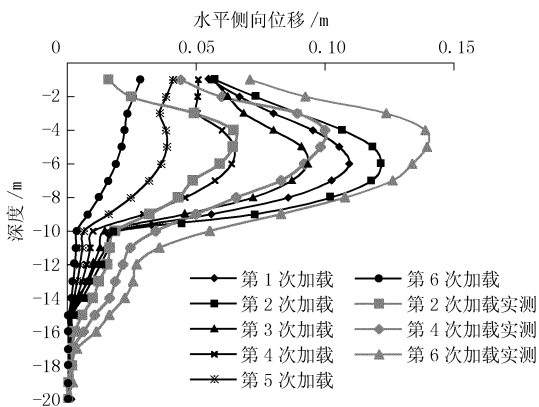


图 6 深层水平侧向位移与深度关系曲线图

图 7 为油罐软土地基深层土体水平侧向位移与径向距离的关系曲线图, 反应了充水预压加载对地基土体侧向挤压的影响范围。分析图 7, 不难发现: 一是, 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, 在基础外侧, 水平侧向位移逐渐减小, 在油罐基础边缘附近达到最大; 二是, 地基深度方向, 水平侧向位移是先逐渐增大, 后逐渐减小

的过程, 最大侧向水平位移发生在地表以下 6.0 m 附近。

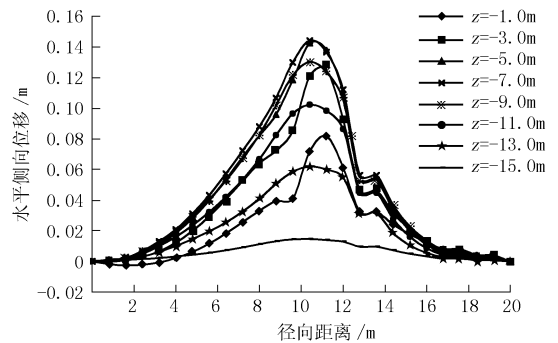


图 7 深层水平侧向位移与径向距离关系曲线图

3.3 基础压力分析

图 8 为油罐柔性基础基底反力分布图, 此处反力为基底平均反力 \bar{P} , 将圆形油罐基础底板按半径每隔 2 m 等分为 13 个圆环, 面积为 A_i ($i = 1, 2, \dots, 13$), 基底平均反力 \bar{P} :

$$\bar{P} = (\sum P_i) / A_i \quad (i = 1, 2, \dots, 13) \quad (1)$$

式中: P_i ——相应圆环面积内节点不平衡力。

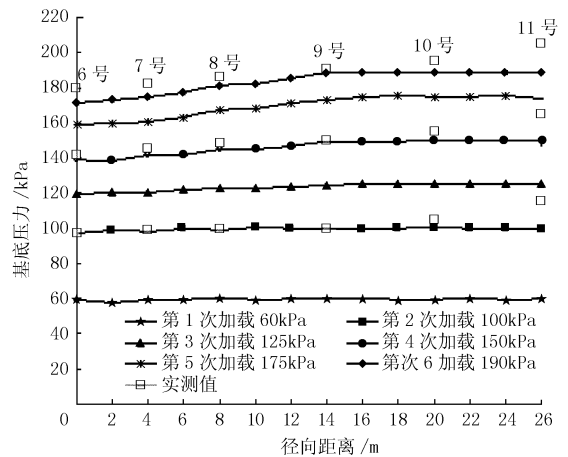


图 8 油罐基底反力分布图

从图 8 可知, 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。其主要原因: 随着加载增大, 油罐地基中间部分因应力叠加, 中心沉降速率要大于边缘沉降速率, 油罐地基变形形成以油罐底板中心为“轴”的碟形, 油罐中心部位沉降较基础边缘大, 测点沉降线为下凹状, 呈现“碟形”沉降, 并且随着荷载的加大, 碟形愈加明显; 而此时, 油罐基础底板虽为柔性基础, 但具有一定刚度, 中心底板的下沉速率不及地基下沉速率, 从而形成中心基底反力降低。这与通过土压力盒实测的基

(下转第 50 页)

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。

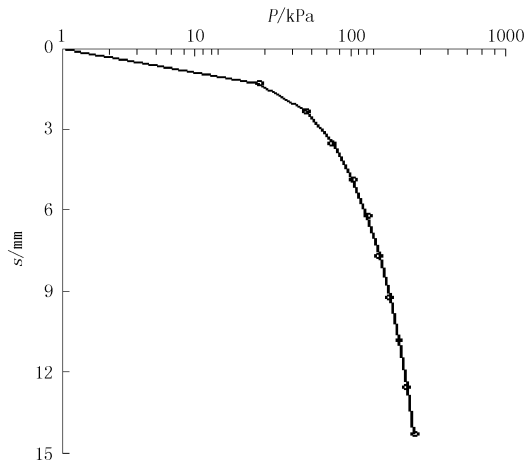


图3 $P-s$ 曲线

$P-s$ 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。

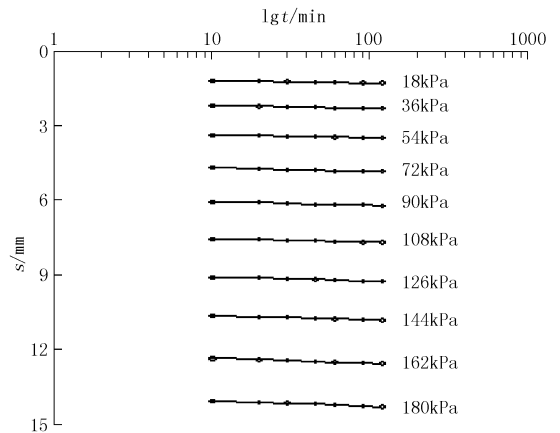


图4 对应的 $s-lgt$ 曲线

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].