

软基处理中孔隙水消散规律的研究

张向东, 张淑坤

(辽宁工程技术大学 土木与交通学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 为研究饱和多孔土体在固结中孔隙水压力的变化特性, 首先根据实际工程条件建立有限元模型, 用模拟结果与原位测试结果进行对比, 验证建立的模型准确性。然后应用该有限元模型设置相关条件, 深入研究在外加荷载的情况下超孔隙水压力的变化规律。分析结果表明: 随着时间的推移超孔压逐渐消散, 365、90、25、18、8 d 地基沉降值有明显回弹, 而且这种现象距离荷载中心越远就越明显; 超孔隙水压力变化敏感度跟排水有关, 越接近排水面也就越敏感, 越远则越迟钝。

关键词: 孔隙水压力; 有限元; 地基; 固结沉降

中图分类号: TU471.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)02-0040-04

Research on the rule of pore water dissipation in treatment of soft foundation

ZHANG Xiangdong, ZHANG Shukun

(Institute of Civil Engineering and Transportation, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to study the change character of pore water pressure in saturated porous soil during the process of consolidation, a finite element model should be established according to the real engineering conditions. The model accuracy is verified by comparing the simulation results with the situ test results. Then using this finite element model to set related conditions, the paper deeply researched the change regularity of the excess pore water pressure under the load applied. The analysis results showed that due to the evanishment of excess pore pressure with the passage of time, after 365, 90, 25, 18, 8 days the foundation settlement values had obvious rebound, and the farther the distance to the load center, the more obvious this phenomenon was, the changed sensitivity of excess pore water pressure was connected with the drainage, the closer to the drainage surface, the more sensitive the change was, and the farther to the drainage surface, the more dull the change was.

Key words: pore water pressure; finite element; foundation; consolidation settlement

1 概述

由有效应力原理可知土的强度和变形特性主要决定于土骨架的有效应力状态及其历史。因此了解它在外荷作用下的孔隙水压力变化规律, 是研究土体特性的必要手段。Biot^[1]将饱和多孔地基作为各向同性弹性体, 考虑固体与液体耦合, 首次给出此类问题的解, 然而求解固结问题的精确解相当复杂, 也有很多学者运用不同方法研究孔隙水压力变化规律^[2-3]。只有正确地估计孔隙水压力的产生和消散, 才能更好地运用有效应力原理解答如地基承载力、沉降、边坡稳定等工程实际问题。现代计算机技

术的发展为该类问题的解答提供了有利条件, 文中基于有限元法运用非线性分析软件 ADINA 对实际工程进行分析, 研究软基在分级加载情况下, 地基中不同位置随时间变化时孔隙水压力消散的规律。

2 工程计算实例分析

珠江河口磨刀门水道一期疏浚治理工程场地位于白龙河西侧的浅滩上, 由于填土与地基土物理力学性质相差不大, 参照文献[2]各参数及厚度简化为表1。工程中路堤填筑为四层, 其横断面形式及堆载速率见图1和表2, 取路堤中点进行地基变形监测。

收稿日期: 2011-11-19

基金项目: 辽宁省教育厅科学技术研究重点实验室项目(2008S114); 国家自然科学基金(50978131)资助

作者简介: 张向东(1962-), 男, 吉林榆树人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事岩土工程与交通土建方面的教学与科研工作。

表 1 地基各层参数

表 1 地基各层参数						kN/m ² , %, MPa, (°), m, cm/s				
地基土	填土	含水量	压缩模量	粘聚力			泊松比	弹性模量	厚度	渗透系数
重度 γ_0	重度 γ	ω	E_s	c	φ_{int}	φ_{cu}	ν	E_0	H	k
18.5	2	68	1.8	4	3	15	0.45	1.7	20	10^{-6}

表 2 加荷载情况

填土荷	第一级填土	第二级填土	第三级填土	第四级填土
载级数	荷载 P_1	荷载 P_2	荷载 P_3	荷载 P_4
间歇时间	8	10	7	-

3 有限元模型的建立

3.1 几何模型及边界条件

模型建立时选取地基尺寸为,横向 40 m,深度为 20 m。将四次填土简化为四次荷载,其作用力大小由截面尺寸以及重度进行换算,作用位置以及填筑速率均参照图 1 和表 2,其中填筑速率运用 ADINA 软件自带的单元生死功能进行控制。模型作用采用水平约束,竖向底边采用固定约束。建立模型如图 2 所示。

3.2 材料参数选取

材料参数按照表 1 进行选取,土体采用 Mohr - Coulomb 材料模型进行模拟。在 ADINA 软件中进行多孔介质固结分析时是用渗透率来描述的,它与渗透系数之间的关系为:渗透率 = 渗透系数/水的重度,按此关系进行相应换算。

4 结果分析

4.1 地基沉降分析

图 3 为数值模型建立时未考虑地基中孔隙水,在外荷载作用下模拟结果与实测值之间的沉降对比关系。可以对照填土速率来进行观察,每一步荷载的施加,地基即发生相应的瞬时沉降,但随时间变化地基稍有回弹。该过程中,前期模拟值较实测值要小。因为在受外荷载作用时地基压缩未考虑孔隙水的影响。而实测值中加载时孔隙水压力瞬间增加并逐步消散,至最终超孔隙水压力消散为 0,此时总应力等于有效应力。虽然计算与实际有差别,但较小,说明模型可用。

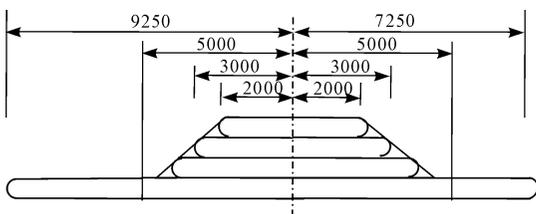


图 1 路基横断面图(单位:mm)

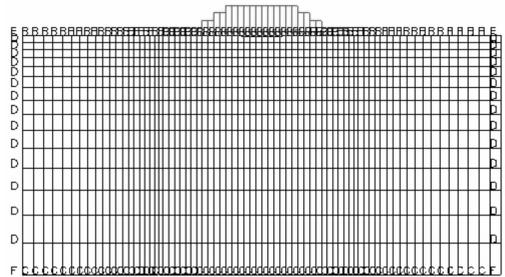


图 2 有限元网格图

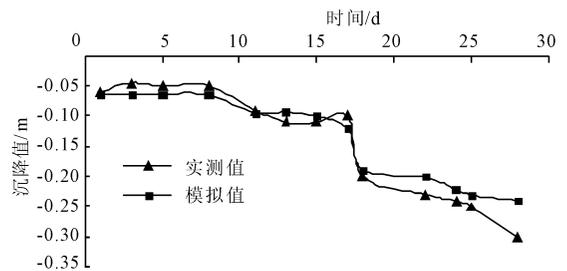


图 3 路基沉降实测值与模拟值对比曲线图

4.2 孔隙水消散规律分析

下面考虑饱和软土或者高饱和度软土时,在该分级荷载作用下孔隙水消散规律。分析中所采用的模型尺寸与材料参数均参照上述工程实际,地基表面为自由排水面,侧面及地面均不能排水。模拟中采用重新启动分析。前期地基未受荷载作用时地基中各点超孔隙水压力为 0,因为此时没有荷载增量,后期受荷载增量作用孔隙水压力随着荷载的增量变化也在不断变化,此时超孔隙水压力是变化量。因此在模型分析中前期模型设置地基中各点超孔隙水压力为 0,以此为分析前提进行重新启动分析,来模拟受各级荷载作用时超孔隙水压力的变化规律。

(1)超孔隙水压力消散对地基表面沉降影响。图 4 表示在地基表面分别在 8 d(第一步荷载)、18 d(第二步荷载)、25 d(第三步荷载)、90 d、365 d,所对应的沉降值。由图 4 可见,在第 8 d 时,地基表面沉降曲线,中线处沉降最大,达到 0.108 m,第 25 d 沉降值最大为 0.175 m,可以看出初期加载阶段地基表面发生的沉降主要为瞬时沉降。当到 90 d 时,距离最后一次加载已经过去 2 个多月,已经进入固结沉降期,荷载增量造成的超孔隙水压力继续消散,直至 365 d 随着超孔隙水压力的消散,地基仍有少量的沉降增量。

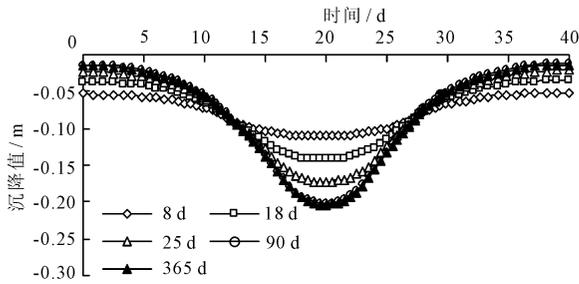


图4 地基表面沉降曲线图

随着时间的推移超孔隙水压力逐渐消散,由图4可以看出,365 d、90 d、25 d、18 d、8 d地基沉降值有明显回弹,而且这种现象距离荷载中心越远就越明显。这是因为软基在受荷载增量扰动时,致结构

破坏,强度丧失;当扰动停止后,强度逐渐恢复的性能,也就是土的触变特性引起的。

(2)地基不同位置超孔隙水压力变化规律分析。图5~7中为第30、90、365 d超孔隙水压力变化等值线图,即为荷载施加完以后超孔隙水压力逐渐消散的过程。在荷载作用下,超孔压最大积聚在土层中心处,由于排水通道只在地基表面,所以该处孔压最大,向上下左右均是逐渐减小的。随时间推移超孔隙水压力最大处逐渐向下移近,因为此处的水短时间内不能通过地基的固结作用将水排出。可以整体上从三个等值线图看到,超孔压逐渐消散的趋势,孔隙水逐渐消散最终将为0。

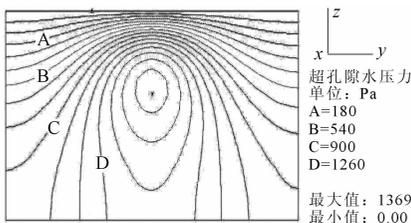


图5 30 d超孔隙水压力等值线图

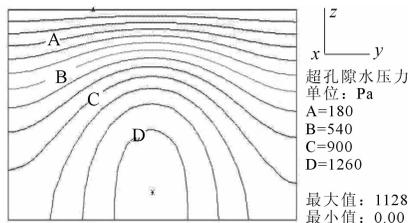


图6 90 d超孔隙水压力等值线图

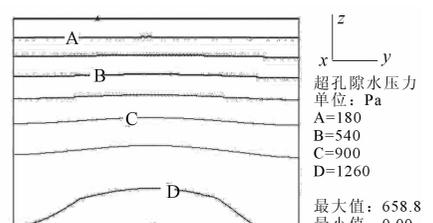


图7 365 d超孔隙水压力等值线图

图8为地基中心线处随深度增加超孔隙水压力变化趋势。由于地基表面设置为自由排水面,所以地基表面超孔压始终为0。逐级加荷载时期8、18、25 d,在加载期间地表受荷载作用短时间内,靠近自由排水表面的土体受压排水,体积收缩,随深度增加超孔隙水压力增大,导致此时总应力与有效应力均增加。但是更深部土体还来不及将水排出,受上部土体的挤压导致深度12 m左右处应力增大至峰值,此时水平总应力的分量相对增长比垂直分量的相对增长要大^[5]。随时间的推移该峰值深度有所增加,对应的超孔隙水压力也有所增大。而加荷载期间,同一天超过12 m深度时超孔隙水压力却逐渐减小,这是由于荷载分级施加期间间隔较短,更深部孔隙水压力变化受荷载增量影响不敏感。到90、365 d时,超孔隙水压力逐渐消散,越接近排水自由面消散的越快。

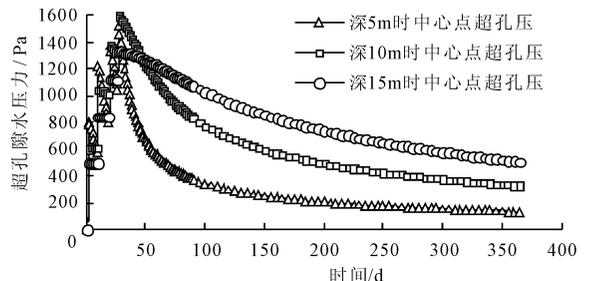


图9 地基中心线上各深度超孔压随时间变化曲线

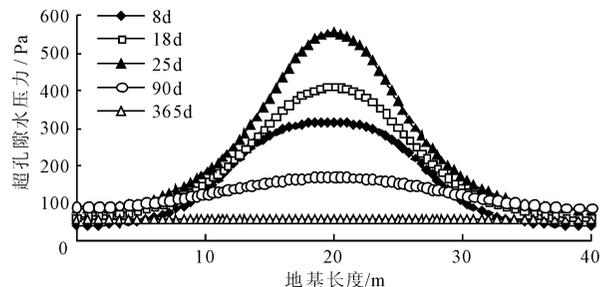


图10 5 m深处水平向各点超孔压的变化

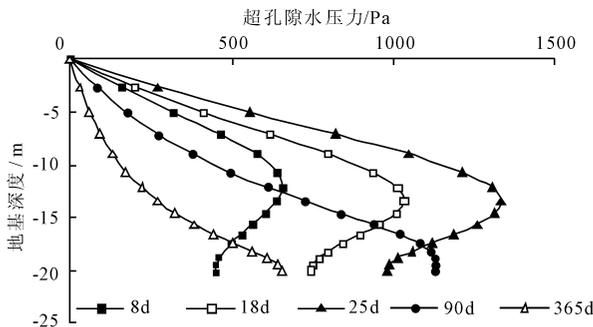


图8 地基中心线超孔隙水压力曲线图

图9为地基中心线上各深度超孔隙水压力随时间变化曲线,各深度分级加载期间各深度超孔隙水压力均呈现突增迅减现象,即加载迅速增加完毕马上消散,越接近排水表面越明显。在荷载均施加完毕的后期,超孔隙水压力逐渐消散最快的仍然是距离排水表面最近的。这说明超孔隙水压力变化敏感度,跟排水通有关系,越接近排水面变化也就越剧烈,越远则越迟钝。由图10可以看出,5 m深度地基土层中随着荷载的施

加,超孔隙水压力猛增,当到90 d后,曲线趋于平缓,说明在这一深度地基土层中,各个位置孔隙水压力逐渐相等,有接近直线的趋势,最终达到直线时也将与横轴重合,即超孔压完全消散至0。

5 结 语

(1) 由沉降模拟值与实测值进行对比可知,运用有限元软件 ADINA 对地基固结沉降进行仿真模拟预测结果比较准确,在实测试验条件不允许的条件下可以采用该方法。

(2) 随着时间的推移超孔压逐渐消散,不同时段地基沉降对比中却稍有回弹,而且这种现象距离荷载中心越远就越明显。这是因为软基在受荷载增量扰动时,致结构破坏,强度丧失;当扰动停止后,强度逐渐恢复的性能,也就是土的触变特性引起的。

(3) 逐级加荷载时期,靠近自由排水表面的土体受压排水,体积收缩,但是更深部土体还来不及将水排出,受上部土体的挤压导致深度12 m左右处应力增大至峰值,超过12 m深度时超孔隙水压力却逐渐减小。

(4) 各深度分级加载期间各深度超孔隙水压力均呈现突增迅减现象,即加载迅速增加完毕马上消散,越接近排水表面越明显。在荷载均施加完毕的后期,超孔隙水压力逐渐消散最快的仍然是距离排

水表面最近的。这说明超孔隙水压力变化敏感度,跟排水通有关系,越接近排水面变化也就越敏感,越远则越迟钝。

参考文献:

- [1] BIOT M A. General theory of three - dimensional consolidation[J]. Journal of Applied Physics, 1941, 12(2): 155 - 164.
 - [2] 田洪琴,张先伟,高书存,等. 淤泥质土孔隙水压力消散规律[J]. 岩土工程界, 2009(8): 16 - 18 + 24.
 - [3] 方诗圣,王建国,王秀喜. 层状土体固结中孔隙水压力消散规律的研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2003, 33(3): 51 - 60.
 - [4] 张泳雄,林春秀. 计软土路堤填土速率控制研究[J]. 广东公路勘察设, 2006(2): 22 - 30.
 - [5] 李广信. 高等土力学[M]. 北京:高等教育出版社, 2004, 7: 295 - 298.
 - [6] 易念平,吴恒,张信贵等. 水土作用的力学机理探讨[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2000, 25(1): 14 - 17.
 - [7] 陈小平,白世伟. 软土蠕变一固结特性及计算模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(5): 728 - 734.
 - [8] 王引生. 高速公路软土地基的沉降问题[J]. 中国公路学报, 1993, 19(1): 35 - 39.
 - [9] 孔德金,苗中海. 软粘土抗剪强度增长规律[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(6): 757 - 759.
 - [10] 李文平. 饱和粘性土高压密实过程中孔压及体应变量变化试验研究[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(6): 666 - 669.
- ~~~~~
- (上接第39页)
- 广度和深度不够。当前的研究大多停留在对湖泊研究对象分形特征的揭示上,湖泊分形研究还处于对现象的揭示和描述阶段,未能进一步从分形维数的变化中找出研究对象的内在规律性。此外,在一些湖泊研究对象分形性质的确定及其分形维数所表示的意义等方面有待于进一步的研究。
- 参考文献:**
- [1] 蔺照兰,王汝南,王春梅. 基于基尼系数的乌梁素海流域污染负荷分配[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(9): 19 - 24.
 - [2] 谢平. 基于贝叶斯公式的湖泊富营养化随机评价方法及其验证[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 3(2): 224 - 227.
 - [3] 陈守煜. 湖库水体富营养化评价级别特征值与识别模型[J]. 黑龙江水专学报, 1999, 26(1): 1 - 8.
 - [4] 李兴,李畅游,冯绍元,等. 基于随机方法的湖泊水质风险性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(5): 72 - 75.
 - [5] 韩涛,李怀恩,彭文启. 基于 MATLAB 的神经网络在湖泊富营养化评价中的应用[J]. 水资源保护, 2005, 21(1): 24 - 26.
 - [6] 胡著邦,徐建民,全为民. 模糊评价法在湖泊富营养化评价中的应用[J]. 农业环境科学学报, 2002, 21(6): 535 - 536, 539.
 - [7] 高世荣,潘力军,孙凤英,等. 用水生生物评价环境水体的污染和富营养化[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(6): 174 - 176.
 - [8] 刘光萍,杜萍,王琨. 分形理论在湖泊富营养化评价中的应用[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(6): 925 - 929.
 - [9] 王京贵,饶安妮. 分形理论在成矿预测中的应用[J]. 华东地质学院学报, 1994, (2): 23 - 25.
 - [10] 孟宪国. 地球科学量化的新工具——分形理论[J]. 中国地质大学学报(地球科学), 1991(3): 67 - 69.
 - [11] 陈守煜. 湖库水体富营养化评价级别特征值与识别模型[J]. 黑龙江水专学报, 1999, 26(1): 1 - 8.
 - [12] 冯玉国. 湖泊富营养化问题灰色评价模型及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 1996, 16(8): 43 - 47.
 - [13] 李畅游,高瑞忠,刘廷玺,等. 乌梁素海水水质富营养化评价及其年季动态变化特征[J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(2): 11 - 15.
 - [14] 郝伟罡,李畅游,高瑞忠. 乌梁素海水环境质量现状评价[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(增): 86 - 88.