

桩承式加筋路堤时效性数值模拟研究

孙彦峰¹, 骆瑞萍², 陈保国³

(1. 河南省核工业地质局, 河南 信阳 464000; 2. 湖北省建筑科学研究设计院, 湖北 武汉 430071; 3. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:利用有限元数值模拟方法研究了桩承式加筋路堤的时效性变化规律。通过无桩无筋、无桩加筋、竖向桩体及水平加筋联合使用3种情况对比研究,分析了路堤填土荷载作用下软土地基中超静孔隙水压力随时间的变化规律,探讨了路堤水平位移、沉降和工后沉降、筋材最大拉力及桩体荷载分担比随固结时间的变化规律。研究结论可为软土地基上路堤的设计和施工提供重要的参考。

关键词:路堤;时效性;数值模拟;超静孔隙水压力;工后沉降

中图分类号:U213.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)05-0056-03

Numerical Simulation on Time-dependent Behavior of Geo-synthetic Pile-supported Reinforced Embankment/SUN Yan-feng¹, LUO Rui-ping², CHEN Bao-guo³ (1. Henan Province Geological Bureau of Nuclear Industry, Xinyang Henan 464000, China; 2. Hubei Institute of Building Research and Design, Wuhan Hubei 430071, China; 3. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Finite element numerical simulation was conducted to investigate the time-dependent behavior of geo-synthetic pile-supported reinforced embankments. Based on comparative study on 3 different cases: (1) un-reinforced embankment; (2) reinforced with geo-synthetic; (3) reinforced with both geo-synthetic and pile walls, analysis was made on the variations of excess pore water pressure induced by the embankment load in soft ground and discussion was carried on the variation of the lateral displacement of embankment, construction settlement and settlement after construction, the maximum tension in geo-synthetic and the load sharing ratio of pile walls. The research conclusion can be the valuable reference for the design or construction of embankments in soft ground.

Key words: embankment; time-dependent behavior; numerical simulation; excess pore water pressure; settlement after construction

0 引言

桩承式加筋路堤的工作机理复杂,影响因素众多,国内外一些学者对其进行了相关的研究工作^[1-3]。但是桩承式加筋路堤的工作性状不仅与材料参数有关,还与时间因素有关。路堤填筑完毕后,随着时间的延长,超静孔隙水压力逐渐消散,土体产生固结沉降。桩承式加筋路堤的受力和位移一直处于一个发展变化的过程中。

目前已有学者建立相关的模型分析路堤填土-筋材-桩体之间的作用机理,但是对桩承式加筋路堤的时效性研究不够具体深入^[4,5]。本文假设桩端穿透软土层,通过有限元数值模拟方法分析路堤下软土地基内部的超静孔隙水压力的分布规律和随时间的变化规律,以及软土地基固结对桩承式加筋路堤工作性状的影响。通过研究3种情况下(软土地基不作加固处理、采用筋材加固、采用桩体和筋材联

合加固)路堤沉降、工后沉降、水平位移以及超静孔隙水压力的变化规律来反映桩承式加筋路堤的作用效果。

1 计算模型

数值模拟采用岩土工程专业软件 PLAXIS,模型中选取路堤填土高度为6 m,路堤顶面宽度24 m,路堤边坡坡率为1:2,路堤底面设置0.5 m厚的砂石垫层。地基土为12 m厚的饱和粘土层,下卧层为密实的风化泥岩,地下水埋深0.2 m。施工时桩体与桩体相连形成桩墙,宽度为0.5 m,桩墙中心间距为3.0 m,弹性模量为1.0 GPa。筋材抗拉刚度取1000 kN/m,其他参数见表1。路堤分6阶段填筑,每阶段填土厚度为1.0 m,填筑速度为0.1 m/d,如图1所示,路堤填筑完毕后固结时间为400天。

收稿日期:2008-12-09

作者简介:孙彦峰(1966-),男(汉族),河南内乡人,河南省核工业地质局工程师,水文地质与工程地质专业,从事工程地质和地基处理技术研究工作,河南省信阳市6号信箱,xinkanyuan@163.com;骆瑞萍(1980-),女(汉族),山东济宁人,湖北省建筑科学研究设计院工程师,结构工程专业,硕士,从事岩土、结构工程的加固设计和科研工作,湖北省武汉市武昌区中南路16-1号,bobhust@126.com;陈保国(1981-),男(汉族),湖北广水人,中国地质大学(武汉)讲师,岩土工程专业,博士,从事地基处理、路基路面工程等相关的教学和科研工作,湖北省武汉市洪山区鲁磨路388号,baoguo_chen@126.com。

表 1 数值模拟计算参数

土 层	重度/(kN · m ⁻³)	渗透系数 /(cm · s ⁻¹)	弹性模 量/MPa	泊松 比	粘聚力 /kPa	内摩擦 角/(°)
路堤填料	20	2.15×10^{-4}	30.0	0.30	26.0	28.5
砂石垫层	21	2.31×10^{-3}	25.0	0.30	1.5	30.5
粘性土	19	4.75×10^{-6}	4.3	0.35	12.0	13.6
强风化泥岩	22	-	42.0	0.27	30.0	34.4

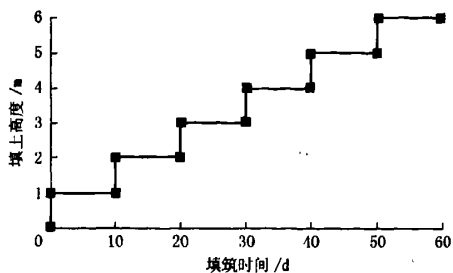


图 1 路堤填筑过程及时间

文中采用 15 节点三角形高精度单元,界面由 5 对节点组成,接触单元的刚度矩阵由 Newton - Cotes 积分得到。通过界面强度折减系数 R_{inter} 来反映由于筋土及桩土界面塑性滑移而导致接触面强度的降低,本文取 $R_{inter}=0.8$ 。计算模型中路堤填料及地基土采用莫尔-库仑屈服准则,桩墙和加筋材料采用线弹性模型。

2 数值模拟结果分析

2.1 超静孔隙水压力随时间的变化规律

填筑及后期固结过程中,3 种情况下(对于采用桩体和筋材联合加固情况,假设路堤填筑前成桩引起的超静孔隙水压力已经消散),软土地基中最大超静孔隙水压力随时间的变化规律如图 2 所示。

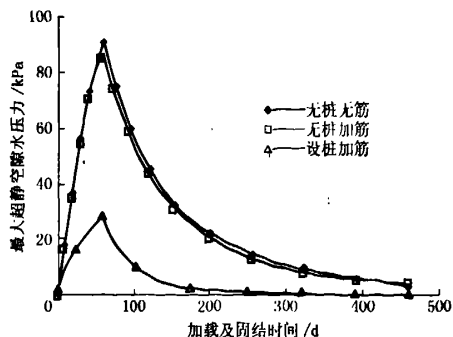


图 2 三种情况下最大超静孔隙水压力变化规律

由图 2 可知,路堤填筑过程中,最大超静孔隙水压力随路堤填土高度的增加而增大,路堤填筑完毕时 3 种情况下的最大超静孔隙水压力同时达到最大值。由于筋材的应力扩散作用,采用加筋处理时路

堤下软土地基中的最大超静孔隙水压力略小于不作任何加固处理情况下最大超静孔隙水压力。采用筋材和桩体联合加固情况下的最大超静孔隙水压力远小于前面的两种情况。

采用筋材和桩体联合处理时,软基不同深度处超静孔隙水压力随时间的变化规律如图 3 所示。填土荷载作用下,软基中产生附加应力场,由此导致的超静孔隙水压力随深度的增加而减小。路堤填筑完毕时,埋深 2 m 处超静孔隙水压力为 26.8 kPa,埋深 10 m 处为 6.1 kPa。由此可以看出,填土完毕时的超静孔隙水压力远小于填土荷载,主要有两方面的原因:其一,路堤分阶段填筑,填筑过程中同时伴随着超静孔隙水压力的消散,有效应力增加;其二,大部分填土荷载由桩体传递到地基深处坚硬的持力层,使软土地基中附加应力大幅度减小,因而产生的超静孔隙水压力也较小。路堤填筑完毕后,随着时间的增长,超静孔隙水压力逐渐消散,当固结时间达到 400 天时,超静孔隙水压力趋于零。

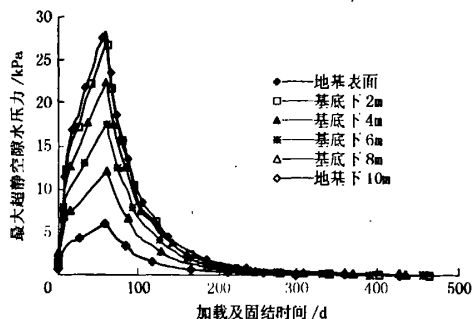


图 3 桩承式加筋路堤超静孔隙水压力随深度的分布规律

2.2 水平位移随时间的变化规律

路堤坡脚处水平位移随时间的变化规律如图 4 所示。

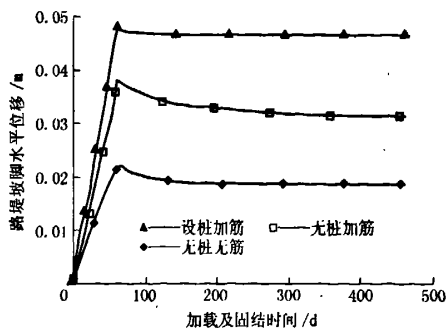


图 4 路堤坡脚水平位移随时间变化规律

路堤填筑完毕时,无桩无筋、无桩加筋和设桩加筋 3 种情况下,坡脚水平位移分别为 48.2、37.1 和

21.9 mm,超静孔隙水压力消散后,土体有效应力增加,强度上升,坡脚水平位移有所减小,分别为46.6、31.4和18.6 mm,无桩加筋情况下水平位移减小的幅度最大。

2.3 沉降和工后沉降随时间的变化规律

路堤底面中心处的沉降变化规律如图5所示。随着固结时间增长,3种情况下软基的沉降均呈非线性增长趋势,并最终趋于稳定。3种情况下最终固结沉降量分别为236.9、224.7和36.7 mm,工后沉降量分别占总沉降量的17.6%、42.5%和17.1%。由此说明,单独使用加筋材料能够减小工期沉降量,但是工后沉降量较大。在地基处理设计中,如果以控制路堤工后沉降为主的工程,不宜单独使用加筋材料,应将筋材与桩体联合使用来控制路堤工后沉降和侧向滑移。

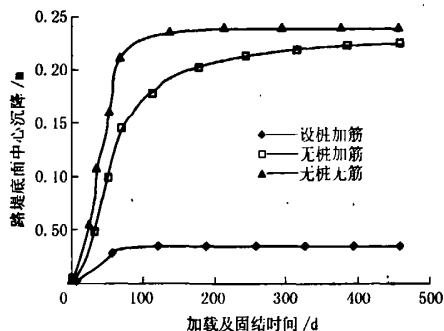


图5 路堤底面中心处沉降随时间变化规律

2.4 受力特性随时间的变化规律

筋材拉力和桩土应力比随加载及固结时间的变化规律如图6和图7所示。无桩加筋与设桩加筋相比,前者筋材拉力明显大于后者,主要是由于无桩加筋情况下路堤的水平位移较大。随着固结时间延长,土体强度逐渐增长,筋材拉力均有所降低。无桩加筋情况下筋材拉力减小更为明显,由加载完毕时的197.86 kN/m减小到173.85 kN/m,拉力减小了12.1%,设桩加筋情况下筋材拉力由加载完毕时的139.92 kPa减小到132.24 kPa,减小了5.5%。图7表明,桩体荷载分担比随固结时间的增长而增大。孔隙水逐渐排出,超静孔隙水压力不断减小,有效应力增加,土体产生固结沉降,通过土拱效应及筋材张力膜效应使桩间土上的荷载逐渐向桩顶转移,导致桩顶应力增加。填土完毕时,路堤中心处的桩体荷载分担比为51.74%,超孔隙水压力消散后,桩体荷载分担比增加到63.78%。进行桩承式加筋路堤设计时,应考虑时效性对桩体荷载分担比的影响,使设

计更加经济合理。

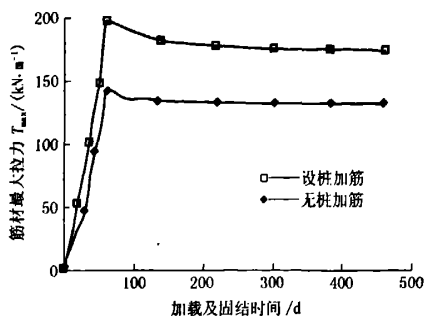


图6 筋材最大拉力随时间变化规律

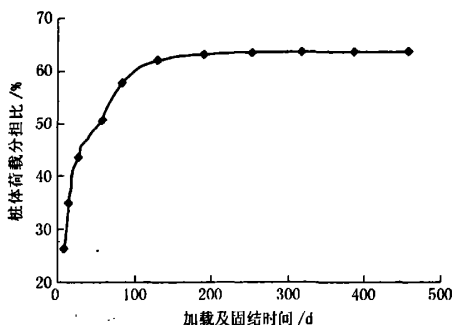


图7 桩体荷载分担比随时间变化规律

3 结论

(1)水平加筋和桩体联合使用处理软土地基能够很好地控制路堤沉降,有效防止地表的不均匀沉降反射到路堤表面引起路面纵向开裂,减小路堤侧向滑移,提高路堤的稳定性。

(2)由于筋材的应力扩散作用,采用加筋处理时路堤下软土地基中的最大超静孔隙水压力略小于不作任何加固处理情况下最大超静孔隙水压力。但是采用筋材和桩体联合加固情况下的最大超静孔隙水压力远小于前面的两种情况。

(3)单独使用加筋材料处理软土地基能够减小路堤侧向位移和工期沉降,但是工后沉降量较大。在地基处理设计中,如果以控制路堤工后沉降为主的工程,不宜单独使用加筋材料,应将筋材与桩体联合使用来控制路堤工后沉降和侧向滑移。

(4)桩体荷载分担比随着软基固结时间增长而增加。填土完毕时,路堤底面中心处桩体荷载分担比为51.74%,超静孔隙水压力消散后,桩体荷载分担比达到63.78%。桩承式加筋路堤设计时应考虑时效性对桩体受力的影响,使设计更加经济合理。

(下转第65页)

在孔内顺畅滑动,也解决了外径116 mm、厚15 mm锚垫板在70 m深钻孔孔壁上滑动(推进到孔底或退出到孔外)过程中,因刮孔壁造成堆积残渣越来越多而受阻的问题。

4 施工工艺及操作方法

(1)采用 $\varnothing 89$ mm钻杆及 $\varnothing 150$ mm潜孔锤成孔结束并上钻;

(2)改用 $\varnothing 50$ mm钻杆,将70 m长 $14 \times 7\varnothing 5$ 锚索与键球式锚索置入器连接完毕并插入孔口;

(3)开动钻机将 $\varnothing 50$ mm钻杆与键球式锚索置入器花键连接,利用钻机加压力推进键球式锚索置入器,此时启动空气压缩机采用小风量,防止 $\varnothing 42$ mm钢管压缩空气通道阻塞,钻机压力适中,用6~8人调整锚索方向使其3 m内的锚索要对准孔位,循序渐进;

(4)当孔内出现坍塌、掉块及缩径问题时,用压缩空气配合键球式锚索置入器回转钻进;

(5)当孔内锚索需要拔出时,先提出 $\varnothing 50$ mm钻杆,然后在孔口处将 $14 \times 7\varnothing 5$ 锚索用夹扣夹紧牢固,用钻机提升锚索,每次可提升2~5 m;

(6)当孔内无问题时,可正常推进键球式锚索置入器至孔底,提升 $\varnothing 50$ mm钻杆与其分离,并用 $\varnothing 50$ mm钻杆注浆,注浆结束提出钻杆并清洗,成

孔、深孔多锚索安装与注浆结束。

5 应用结果分析

(1)孔内锚索安装到位,缩短了安装锚索时间。本工程70 m长 $14 \times 7\varnothing 5$ 锚索178组,孔内安装每组锚索用1.5~2 h。

(2)解决了孔内注浆问题。用 $\varnothing 50$ mm钻杆代替注浆管,回避了原注浆管易折断、阻塞、被埋入孔内等问题,保证了注浆质量。

(3)满足了施工规范与设计要求。经监理检查及预应力张拉试验结果表明,施工工艺满足规范和设计要求。

(4)降低了人力资源消耗。孔内安装1组 $14 \times 7\varnothing 5$ 锚索所需人力由原来30人,降到现在10人。

(5)提高了生产效率、缩短了工期、降低了生产成本,获得了较好的经济效益。

6 结语

(1)本施工工艺从根本上解决了深孔多锚索安装与注浆问题。

(2)充分利用钻机自身具有的能力,淘汰了以往用人海战术处理该问题的施工方法。

(3)该工艺对灾害环境治理加固,全面实施设计目的,起到及其重要的关键性作用。

(上接第58页)

参考文献:

- [1] Hewlett W J, Randolph M F. Analysis of Piled Embankment [J]. Ground Engineering, 1988, 21(3): 12-18.
- [2] Han J, Gabr M A. Numerical Analysis of Geosynthetic-reinforced and Pile-supported Earth Platforms over Soft Soil [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2002, 128(1): 44-53.

(上接第62页)

深基坑支护类型,它们各有优缺点,适用于不同地质条件和工程环境,而地质与环境条件是基坑选型的主要因素。

(2)本基坑工程依据地质及环境条件,采用了“深坑”化两道“浅坑”的设计思路,上道坑采用水泥土挡土墙(兼止水帷幕)+多道土钉的支护技术,下道坑采用水泥土止水帷幕+钻孔灌注桩+一道环形钢筋混凝土水平内支撑的优化组合方案,技术可行、安全可靠、经济合理,缩短了工期,可为本地区同类超10.0 m深基坑工程设计提供借鉴。

- [3] 郑俊杰,陈保国, Abusharar S W,等. 双向增强体复合地基桩土应力比分析[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(7): 110-113.
- [4] 饶为国,江辉煌,侯庆华. 桩-网复合地基工后沉降的薄板理论解[J]. 水利学报, 2002, 33(4): 23-27.
- [5] 陈仁朋,贾宁,陈云敏. 桩承式加筋路堤受力机理及沉降分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(23): 4358-4367.

参考文献:

- [1] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] CECA96:97,基坑土钉支护技术规程[S].
- [3] 刘建航,等. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [4] 高大钊,陈忠汉,黄书秩,等. 深基坑工程[M]. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [5] 余志成,施文华. 深基坑支护设计与施工[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1999.
- [6] 崔江余,梁仁旺. 建筑基坑工程设计计算与施工[M]. 北京:中国建材工业出版社, 1999.
- [7] 朱伟民. 谈深基坑支护工程的安全施工[J]. 山西建筑, 2004, 30(20).
- [8] 朱黎心,杨瑞清,苏鸿. 深圳赛格大厦基坑支护工程实例[J]. 工程勘察, 2001, (6).