

软土地基上加筋土挡墙变形特征的有限元分析

王潇宇,徐超,吴迪

(同济大学地下建筑与工程系,上海 200092)

摘要 :针对在加筋土挡墙设计中,一般不考虑地基变形影响,而软土地基过大变形会造成加筋土挡墙失效的问题,结合某加筋土挡墙实例,利用数值模拟方法建立了软土地基上加筋土挡墙数值模型,分析了软土地基不均匀变形对加筋土挡墙的影响。结果表明:由于加筋土挡墙基底压力的偏心作用,会引起软土地基的差异沉降,对墙体侧向变形及向临空面倾覆有不利影响,加筋土挡墙面板变形主要是由地基不均匀沉降引起的,加筋土挡墙地基的沉降曲线近似线性,面板下地基沉降量最大。参数分析还揭示,地基土的杨氏模量和面板仰角、回填土特性等对加筋土挡墙变形特征均存在较大影响。

关键词 :加筋土挡墙;软土地基;不均匀沉降;有限元分析

中图分类号 :TU476+.4 **文献标志码** :A **文章编号** :1006-7647(2012)01-0091-04

FEM analysis of deformation characteristics of reinforced retaining walls on soft foundation//WANG Xiao-yu, XU Chao, WU Di (Department of Geotechnical Engineering, College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract : Generally, the impact of foundation deformation has been not taken into account in the design of the reinforced retaining walls. However, tremendous deformation of the soft foundation may cause their failure. Based on the practice of a reinforced retaining wall, a model for the reinforced retaining wall on the soft foundation is established by means of numerical modeling method. The impact of differential deformation of the soft foundation on the reinforced retaining wall is analyzed. The results show that : (1) the eccentric action of the base pressure of the reinforced retaining wall will lead to the differential settlement of the soft foundation, and thus it results in adverse impact on the wall deformation and the failure of the free face ; (2) the deformation of the face of the reinforced retaining wall is mainly caused by the differential settlement of the soft foundation ; (3) the settlement curve of the foundation with the reinforced retaining wall is nearly linear, and the largest settlement point is under the face. The parametric analysis also indicates that the Young's modulus and face angle of the foundation soils and the characteristics of the backfill also have great impact on the deformation characteristics of the reinforced retaining wall.

Key words : reinforced retaining wall ; soft foundation ; differential settlement ; FEM analysis

自 19 世纪 60 年代法国工程师 H. Vidal 提出在无黏性土中设置镀锌金属条带来提高土体强度的新型加筋土技术^[1]以来,由于其具有良好的经济效益和社会效益而得到日益广泛的使用,并吸引大量学者投身这一领域,取得了大量研究成果^[2-9]。目前国内研究多集中在稳定地基上加筋土挡墙的变形特性和加筋土挡墙的加固机理^[10-11],而地基不均匀沉降对加筋土挡墙工作性状的影响,也引起越来越多的学者的关注。李志清等^[12]认为多层适中强度格栅比少层高强度格栅加筋方式更有利于抑制地基不均匀沉降。Tanchaisawat 等^[13]认为软土地基上加筋土挡墙的地基沉降和墙体水平位移用三维数值模拟结果比二维要小些,但二维数值模拟的结果也比较

可靠,两者整体趋势一致,差距较小。Algir^[14]认为在极限平衡设计方法中,垂直面板加筋土挡墙的基底压力是不均匀线性分布的,并提出用于弹性变形和一维固结计算的计算公式。魏丽敏等^[15]认为当面板和墙体存在差异沉降时,筋材上最大拉力点位于筋材与面板的连接处,设计中应予以重视。

为了深入认识软土地基沉降对加筋土挡墙工作性状、变形特征的影响及其规律,本文在已有研究成果基础上,利用有限元软件 PLAXIS,建立了软土地基上加筋土挡墙的数值模型,结合南京某加筋土挡墙的实际工程案例,比较系统地分析了软土地基在加筋土挡墙荷载作用下的沉降规律,探讨了地基不均匀沉降对加筋土挡墙工作特性的影响。

1 PLAXIS 软件及其特点

PLAXIS 软件自带 7 种本构模型:线弹性模型、摩尔库仑模型、节理岩石模型、强化岩石模型、改进的 Cam-Clay 模型、软土模型、软土流变模型,同时支持用户自定义模型。PLAXIS 软件能够针对平面应变和轴对称两类工程问题进行塑性计算、固结分析、安全分析及动力分析。

为模拟土工格栅的作用,PLAXIS 软件将土工格栅视为只能沿着轴向拉伸变形的单元,用线弹性本构模型模拟;同时引入了界面单元的概念^[16],用一个弹塑性模型描述界面的性质,模拟土工格栅单元与土的相互作用。加筋材料与土之间的应力传递水平取决于筋-土的界面强度,因此假定界面的强度等于周围土体的强度乘以界面折减系数 R_{inter} 。

2 模型建立与参数选择

参考南京一加筋土挡墙的实际情况建立的初始模型如图 1 所示。墙高 4.65 m,面板采用自嵌式砌块(长 40 cm、宽 30.5 cm、高 15 cm),面板仰角为 78.0°,面板底部有 120 cm×30 cm 的素混凝土垫块。加筋材料采用玻璃纤维土工格栅,容许拉应力为 15.5 kN/m,加筋间距为 0.45 cm,加筋长度为 3.50 m。地基为 9.00 m 的粉质黏土层,上覆 1.35 m 的填土层,地下水位为地面下 1.00 m。

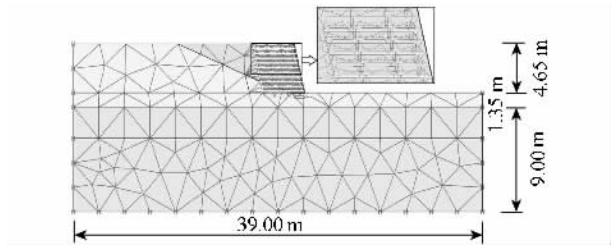


图 1 某加筋土挡墙 PLAXIS 有限元模型

地基土和填土在数值模拟时均采用 Mohr-Coulomb 材料模型,具体参数根据勘察报告和原设计文件确定。面板和垫块采用线弹性板单元来模拟,抗拉刚度 3 150.0 MN/m、抗弯刚度 23.5 MN/m、泊松比 0.15;土工格栅采用内置的格栅单元模拟,抗拉模量 300 kN/m,界面折减系数 $R_{inter} = 0.67$,只受拉力而不能承受压力,边界条件选两边为水平约束,底面选水平垂直双向约束。具体计算参数如表 1 所示。

表 1 有限元计算参数

土 层	天然密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	饱和密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	杨氏模量 E/MPa	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	水平渗透系数 $k_x/(m \cdot d^{-1})$	垂直渗透系数 $k_y/(m \cdot d^{-1})$	泊松比 ν
填 土 层	1.68	1.82	5.00	18	19.7	0.002	0.001	0.33
粉质黏土层	1.75	1.88	5.74	15	17.8	0.002	0.001	0.33
回 填 土	1.95	2.00	13.00	15	24.0	0.020	0.10	0.28

3 有限元计算结果与参数分析

3.1 变形特性

图 2 给出了加筋土挡墙建成后墙体及地基总位移云图。加筋土挡墙墙顶和地基最大位移都在靠近面板的位置,最大值分别为 56 mm 和 54 mm,随着距面板距离的增加,位移量都逐渐减小。加筋区域内地基土的差异沉降在 10 mm 左右,这种差异沉降使得墙体的抗倾覆力矩减小而倾覆力矩增大,会对墙体的外部稳定性产生不利的影响。

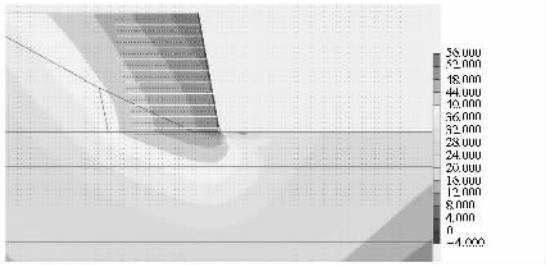


图 2 墙体及地基总位移云图(单位: mm)

面板的水平位移如图 3 所示。由于面板的刚性比较大,其水平位移整体呈线性变化,上部水平位移大,下部小,相差 25 mm 左右。面板脚趾处有混凝土垫块,且埋置于地表以下,限制了面板底部水平位移,而由于土体主动土压力的作用,面板会整体向外倾覆。发生一定变形后,墙后的土工格栅加筋发挥作用,使墙体趋于稳定。

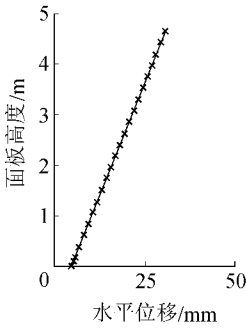


图 3 面板水平位移

墙顶和地基沉降曲线如图 4 所示。墙顶和地基沉降曲线趋势基本一致,数值相差不大,表明加筋土挡墙表面的沉降主要是由地基变形引起的,墙体自身的变形较小。由图 4 可见,靠近面板处的沉降量最大,而远离面板处的沉降量变小,也印证了 Algin^[14]的观点。

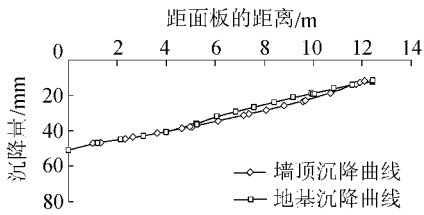


图4 墙顶和地基沉降曲线

3.2 影响因素分析

为了进一步探讨相关参数对加筋土挡墙变形特征的影响,分别从地基条件、墙体几何参数和回填土特性方面进行分析。

地基杨氏模量变化对加筋土挡墙的影响如图5和图6所示。杨氏模量越小,表明土体越差,地基沉降量越大,差异沉降和面板顶部水平位移量也越大;杨氏模量增大,沉降量减小,差异沉降和面板顶部水平位移量也相应减小。地基杨氏模量对加筋土挡墙加筋区的影响比未加筋区要大,当地基土体杨氏模量 $E = 1.5 \text{ MPa}$ 时,可以明显发现:在加筋区沉降曲线连续均匀变化,自未加筋区起,沉降曲线上的突变量减小,表明加筋材料对改善土体整体性有良好的效果,但地基条件差导致墙体偏心作用明显,沉降值大。

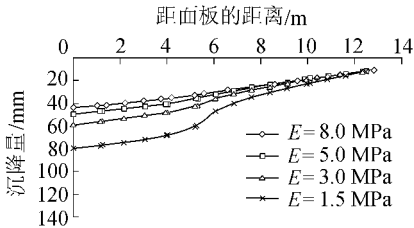


图5 地基杨氏模量对沉降量的影响

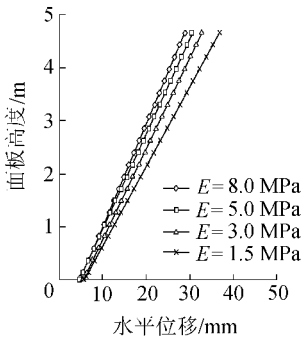


图6 地基杨氏模量对面板水平位移的影响

地基土强度参数对加筋土挡墙的影响如图7和图8所示。由图7和图8可见,地基土只要具备一定的强度,保证在墙体荷载作用下不发生地基破坏,其对墙体变形基本没有影响。这进一步说明地基的变形性质才是影响加筋土挡墙变形特征的主要因素。

该加筋土挡墙工程中,回填土采用黏性土,且顶部未采取防排水措施,在雨季因受到浸泡而产生过

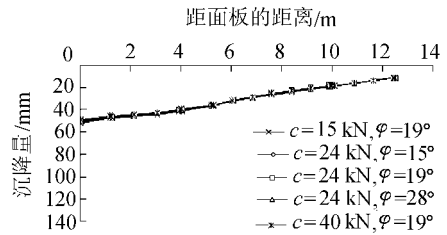


图7 地基强度参数对沉降量的影响

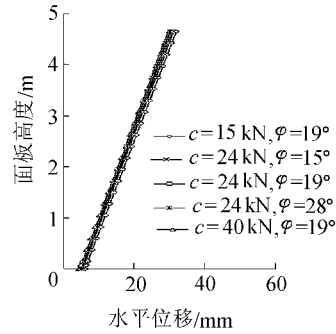


图8 地基强度参数对面板水平位移的影响

大的侧向变形。基于这一实际情况,通过数值模型来考虑填土因受环境条件影响而力学特性变差,以及筋土相互作用强度变小后挡墙的行为特征。图9和图10为挡墙变形随回填土杨氏模量和筋土相互作用系数降低而出现的变化趋势,可见,随着回填土杨氏模量和筋土相互作用参数的降低,面板顶端的水平位移明显增大,这与工程实际情形一致。

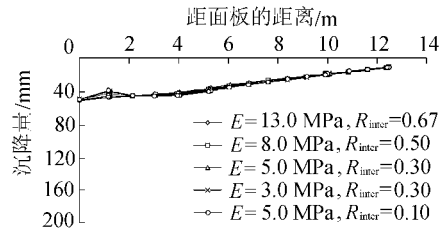


图9 回填土对地基沉降量的影响

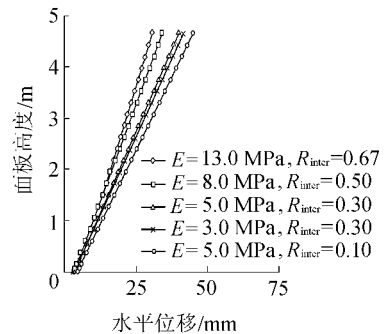


图10 回填土对面板水平位移的影响

加筋土挡墙面板仰角 β 对加筋土挡墙的影响如图11和12所示。面板仰角的变化,引起加筋土挡墙地基附加应力的变化。当仰角增加时,地基沉降量增大,差异沉降扩大,使得面板顶部的水平位移进一步加大。尤其是在面板垂直情况下,墙体面板

易出现倾覆现象,在软土地基上修建加筋土挡墙时应采取必要的应对措施。

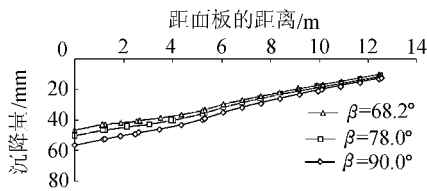


图 11 面板仰角对沉降量的影响

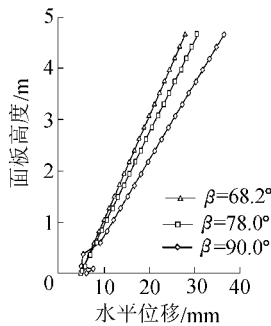


图 12 面板仰角对面板水平位移的影响

4 结 论

a. 由于加筋土挡墙对软土地基荷载的偏心作用,会引起地基的差异沉降,这对墙体向外倾覆破坏有不利影响。

b. 加筋土挡墙的顶面变形主要是由地基的变形引起的,墙体自身的变形较小。加筋土挡墙地基的沉降曲线近似线性,面板下地基沉降量最大,随离面板距离增大,挡墙沉降量逐渐减小。

c. 数值模型分析表明:地基杨氏模量、面板仰角及回填土杨氏模量和筋土相互作用系数对加筋土挡墙变形特性影响较大。在软土地基上修建加筋土挡墙时,应综合考虑各种因素的影响,特别是环境因素与地基条件、挡墙几何形态等不利因素的耦合作用,以避免加筋土挡墙的工程事故。

参考文献:

[1] 徐超,邢浩枫.土工合成材料[M].北京:机械工业出版社.
[2] 贺会团,蒋丽霞.基于变形控制的加筋土挡墙设计方法[J].水运工程,2010(8):24-29.
[3] HELWAN Y A S M B ,REARDON G ,WU J T H. Effects of backfill on the performance of GRS retaining walls[J]. Geotextiles and Geomembranes ,1999 ,17(1):1-16.
[4] KERRY R R ,SKINNER G D. Numerical analysis of geosynthetic reinforced retaining wall constructed on a layered soil foundation[J]. Geotextiles and geomembranes ,2001 ,19(9):387-412.
[5] 王向余,刘华北,宋二祥.地震类型对加筋土挡土墙长期蠕变后动力响应的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2011,39(5):528-535.

[6] 周春儿,何光春,龙丽吉.台阶式土工格栅加筋土挡墙结构优化设计[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(5):713-717.
[7] 吴景海,王德群,陈环.土工合成材料加筋砂土三轴试验研究[J].岩土工程学报,2000,22(2):199-204.
[8] 王钊,李丽华,王协群.土工合成材料的蠕变特性和试验方法[J].岩土力学,2004,25(5):723-727.
[9] 张军乐,华祖,魏丽敏.高加筋土挡墙设计中的若干问题[J].路基工程,2000(5):12-15.
[10] 徐超,赵春风,叶观宝.关于土与土工合成材料界面的试验研究[J].同济大学学报:自然科学版,2004,32(3):307-311.
[11] 杨广庆,周亦涛,周乔勇,薛晓辉.土工格栅加筋土挡墙试验研究[J].岩土力学,2009,30(1):206-210.
[12] 李志清,胡瑞林,付伟,等.土工格栅在加固高速公路路堤中的应用研究[J].岩土力学,2008,29(3):795-799.
[13] TANCHAISAWAT T ,BERGADO D T ,VOOTIPRUEX P. 2D and 3D simulation of geogrid-reinforced geocomposite material embankment on soft Bangkok clay[J]. Geosynthetics International ,2009 ,16(6):420-432.
[14] ALGIN H M. Settlement analysis of geosynthetic reinforced soil retaining walls at foundation level[J]. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering ,2010 ,15 :697-712.
[15] 魏丽敏,张军乐,何群.差异沉降下加筋土挡土墙筋带变形特性试验研究[J].湖南科技大学学报:自然科学版,2005,20(1):45-48.
[16] SONG Ya-kun ,ZHENG Ying-ren ,TANG Xiao-song ,et al. Study on the FEM design of reinforced earth retaining wall with geogrid[J]. Engineering Sciences ,2010 ,28(3):71-80.

(收稿日期:2011-10-10 编辑:熊水斌)

· 简讯 ·

第 6 届海峡两岸土壤和地下水污染与
整治研讨会将在烟台召开

中国科学院主办、中国科学院烟台海岸带研究所承办的第 6 届海峡两岸土壤和地下水污染与整治研讨会将于 2012 年 8 月 26—28 日在山东省烟台市召开。本届会议的主题包括:土壤、底泥(沉积物)和地下水污染防治法规、政策与标准,土壤、底泥和地下水污染特征调查技术及其实例研究,工业场址土壤和地下水污染调查技术及其实例研究,污染场址人体健康和生态风险评估研究进展,土壤、底泥和地下水污染整治(修复)技术应用实例,污染场址的可持续风险管理策略等。会议论文摘要递交截止日期为 2012 年 6 月 30 日。会议网站: <http://sgpr2012.csp.escience.cn>。

(本刊编辑部供稿)