

软土地基上加筋路堤稳定性分析——改进瑞典条分法

陈昌富¹, 李 龙²

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 辽宁有色勘察研究院, 辽宁 沈阳 110002)

摘 要:在软土地基加筋路堤稳定性分析方法中,传统的瑞典条分法由于对土工合成材料的加筋作用存在认识上的误区,导致最终的计算结果过于保守。对软土地基加筋路堤的加固机理和破坏模式进行深入分析发现,传统分析方法对加筋体的加筋作用估计不足,据此,在充分考虑加筋体的加筋作用下,基于瑞典条分法提出了新的稳定性分析计算公式,通过实例验证该法比较符合工程实际。

关键词:土工合成材料;软土地基;路堤;稳定性分析;边坡

中图分类号:U416.1⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3746(2003)06-0002-03

Stability Analyses of Reinforced Embankment Built on the Soft Ground—Modification of Swedish Slice Method/
CHEN Chang-fu¹, Li Long² (1. Hunan University, Changsha Hunan 410082, China; 2. Liaoning Investigation and Research Institute, Shenyang Liaoning 110002, China)

Abstract: Of the stability analyses of embankment reinforced by geo-synthetic material, the traditional Sweden slice method obviously owes its conservation to the misunderstanding of reinforcement mechanism of geo-synthetic material. Deep studies of the failure and reinforcement mechanism of geo-synthetic material show that the reinforcement effects of geo-synthetic material were considerably underestimated. Therefore, a new stability analysis method of embankment reinforced by geo-synthetic material, called modification of Sweden slice method, is presented by modifying the assumption of reinforcement effects. The in-situ case demonstrates the presented method is effective and practical.

Key words: geo-synthetic material; soft ground; embankment; stability analysis; slope

0 引言

在软土地基上修筑路堤时,常在路堤底部铺设一层水平的土工合成材料(土工织物或土工格栅等)作加筋处理,其作用是通过侧向约束力效应限制侧向变形,均化地基应力分布,以达到减小地基土的不均匀沉降,提高土坡的稳定性。目前对使用土工合成材料加筋的路堤土坡进行稳定性分析,采用的是在工程中得到广泛应用的静力极限平衡法,其中最常用的是瑞典法与荷兰法^[2]。不管是瑞典法还是荷兰法^[1],有文献报道加筋后计算得到的安全系数值比不加筋时只提高 2%~3%^[2],计算结果明显偏低,与工程实际不符。而实际工程中加固效果却往往非常好,完全满足工程要求,工程没有出现任何问题。这说明现有的设计计算方法存在不合理的情况。为此,文献[3]利用极限分析法来进行分析,所得计算结果可提高 23.4%,但文献[4]指出,大量的工程计算证明极限分析法与圆弧滑动面法的安全系数计算结果相差很大,若将由极限法得到的计算结果近似折算成圆弧滑动法,仍然只提高了 6.3%。

可见文献[3]仍然未圆满解决工程中加筋效果好但按极限平衡分析法得到的安全系数值提不高的问题。本文在深入分析加筋体的加固和破坏机理的基础上,改进了现有的加筋路堤的稳定性计算方法,重新推导了计算公式,提出了分析加筋软土路堤稳定性的改进瑞典条分法。通过实例验证,本文方法比较符合工程实际。

1 软土路基水平加筋的作用机理与破坏模式分析

1.1 作用机理

土工合成材料水平加筋体与软土地基的相互作用,通常认为存在以下 2 种效应:

(1) 当量侧向约束力效应,即通过土工合成材料与软土地基的接触面摩擦,增加了侧向应力,限制了侧向变形,改变了浅层软土的应力和变形状态,使地基土的位移场和剪应变在较大区域内有所改善,提高了浅层软土的抗剪强度。

(2) 网兜效应,即由于路基的变形使得土工合成材料产生了对路堤中部向上的抬升力,从而均化

收稿日期:2003-03-28; 改回日期:2003-09-27

基金项目:湖南省科技攻关项目(02GKY3024)

作者简介:陈昌富(1963-),湖南祁东人,湖南大学岩土工程研究所副所长、副教授,地质工程、土木工程专业,博士,从事地基处理以及边坡与基坑工程等方面的教学与科研工作,湖南省长沙市, (0731)8821659, cfchen@163.com。

了地基应力分布,有利于防止局部塑性区的开展,限制地基土的不均匀沉降,增强土坡的稳定性。

1.2 破坏形式

一般认为加筋的破坏形式有以下 2 种情况:

(1) 拉力破坏,即由于加筋材料强度不足,当填料中出现极限平衡应力状态时,筋材被拉断。可通过选择强度较高的加筋材料来防止这种破坏。

(2) 粘着破坏,即由于筋-土接触面抗剪强度不足,当填料中出现极限平衡应力状态,填料与筋材之间的摩阻力被克服,筋材被拉出而破坏。这种破坏形式取决于筋-土接触面抗剪强度和加筋长度。

加筋路堤中若采用模量高、变形小的筋材,在经过层层碾压填土施工后,筋材通常处于高度张拉的工作状态。对于这类加筋路堤,根据室内试验和现场工程实际,加筋路堤达到极限状态时,加筋体通常已经达到极限状态(筋材拉力或筋材界面粘着力已达到极限状态)。

2 软土地基上加筋路堤分析方法

2.1 传统的瑞典条分法

瑞典法又称刚性法,其计算模型是假设土工合成材料为刚性的,土工合成材料的拉应力一直保持不变与原来的铺设方向(通常为水平方向)一致,不随加荷而改变,如图 1 所示。

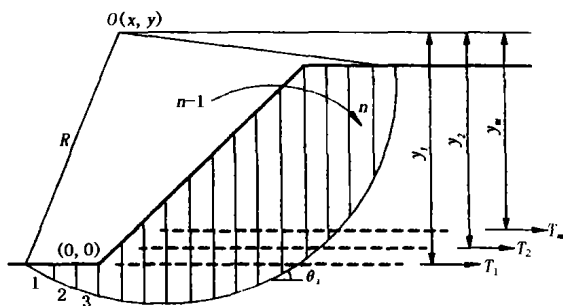


图 1 加筋路堤稳定性分析图

设 W_i 为第 i 土条的质量, θ_i 为第 i 土条底面的倾角, l_i 为第 i 土条底面的长度, T_j 为第 j 层筋材的抗拉强度, y_j 为第 j 层筋材离滑弧圆心 O 的垂距, R 为滑弧的半径。由图 1 可知,所有土条对圆心 O 的滑动力矩之和为:

$$M_s = \sum (W_i \sin \theta_i) R \quad (1)$$

所有土条底面抗剪切力对圆心 O 的抗滑动力矩之和为:

$$M_R = \sum (W_i \cos \theta_i \tan \varphi_i + c_i l_i) R \quad (2)$$

式中: c_i 、 φ_i ——第 i 土条底面所处土层的粘聚力和

内摩擦角,若在软土中,可取 $c_i = c_u$, $\varphi_i = 0$ 。

所有加筋力对圆心 O 的抗滑动力矩之和为:

$$M_T = \sum T_j y_j \quad (3)$$

根据 Bishop 的定义,则有:

$$M_s = \frac{1}{F_s} (M_R + M_T) \quad (4)$$

将式(1)~(3)代入上式并解出 F_s ,有:

$$F_s = \frac{\sum (W_i \cos \theta_i \tan \varphi_i + c_i l_i) R + \sum T_j y_j}{\sum (W_i \sin \theta_i) R} \quad (5)$$

工程上一般要求计算所得的安全系数 > 1.3 。

2.2 改进的瑞典条分法

由 2.1 节分析可以看出,式(5)是假定加筋力抗滑力矩与滑裂面上抗剪力抗滑力矩具有同等安全储备下推出的。由 1.2 节分析知,加筋体通常先于加筋路堤达到极限状态,因此筋材的加筋力应充分发挥其作用,于是式(4)改为:

$$M_s = \frac{1}{F_s} M_R + M_T \quad (6)$$

将式(1)~(3)代入上式并解出 F_s ,则有:

$$F_s = \frac{\sum (W_i \cos \theta_i \tan \varphi_i + c_i l_i) R}{\sum (W_i \sin \theta_i) R - \sum T_j y_j} \quad (7)$$

式(7)即是充分考虑筋材加筋作用后加筋路堤边坡稳定性分析计算公式。

3 算例

本文采用文献[1]的算例。

一座路堤修建在粉质粘土地基上,高度 $H = 6.5$ m,坡角 $\beta = 40^\circ$ (约 1: 1.2),算例图如图 2 所示。填土的性质为:重度 $\gamma_1 = 19.2$ kN/m³,粘聚力 $c_1 = 9.5$ kN/m²,内摩擦角 $\varphi_1 = 0$,滑体面积 $A_1 = 27$ m²,其形心距滑动圆心的水平距离为 7.87 m;地基土的性质为: $\gamma_2 = 20$ kN/m³, $c_2 = 14.2$ kN/m², $\varphi_2 = 0$,地基滑动面积 $A_2 = 23.23$ m²。为增强地基稳定性,在坡底与地基交界处自下而上铺设高强度土工织物,间距 $S_v = 1.5$ m,土工织物的容许抗拉强度为 $T_s = 44.6$ kN/m。为了保证加筋路堤边坡稳定性安全系数达到 1.3,问需要铺设几层土工织物?

文献[1]铺设了 5 层土工织物,自下而上每层的加固段长度为 11.0、9.5、8.0、6.5、5.0 m。按照传统的瑞典法得安全系数值如下式:

$$\begin{aligned} (F_s)_{\text{IS}} &= \frac{(c_1 L_1 + c_2 L_2) R + \sum T_j y_j}{x_1 \gamma_1 A_1 + x_2 \gamma_2 A_2} \\ &= \frac{3843.2 + 44.6(11 + 9.5 + 8.0 + 6.5 + 5.0)}{4079.8} \\ &= 1.379 \end{aligned}$$

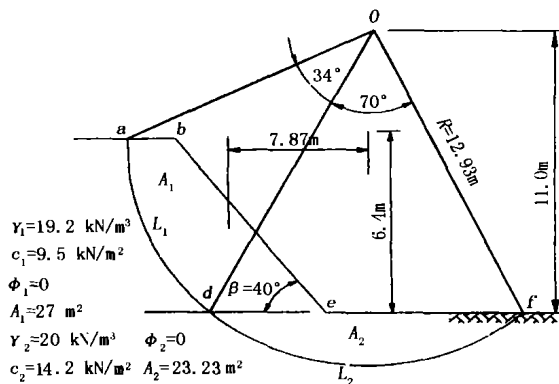


图2 文献[2]中算例示意图

若按本文的改进的瑞典条分法,自下而上铺设3层高强度土工织物,则可得加筋路堤安全系数值为:

$$(F_s')_{13} = \frac{(c_1 L_1 + c_2 L_2) R}{(x_1 \gamma_1 A_1 + x_2 \gamma_2 A_2) - \sum T_{aj} \gamma_j} = \frac{3843.2}{4079.8 - 44.6(11 + 9.5 + 8.0)} = 1.368$$

与按传统瑞典法加筋5层时得到的结果基本相当。而按本文方法可节约2层筋材,缩短锚固段长度11.5m(减少28.75%),降低了加固成本。

4 结语

软土地基上修建路堤时,在路堤底面铺设土工合成材料加筋垫层,一些工程实践表明可显著提高路堤的稳定性,但用传统的圆弧滑动面法(如目前广泛采用的瑞典条分法)计算时,所得安全系数提高不大。为解决这种计算结果与实际不符的问题,本文从加筋路堤的加筋和破坏机理入手,充分发挥加筋体的加筋作用,基于瑞典条分法重新推导了安全系数计算公式。经算例验证,本文提出的改进瑞典条分法可有效地提高加筋路堤安全系数计算值,比较符合工程实际。

参考文献:

- [1] 编写委员会.土工合成材料工程应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [2] 江苏宁沪高速公路股份有限公司,河海大学.交通土建软土地基工程手册[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 沈珠江.土工合成物加强软土地基的极限分析(英文)[J].岩土工程学报,1998,20(4):82-86.
- [4] 吴景海,陈环.关于“土工合成物加强软土地基的极限分析”一文的讨论[J].岩土工程学报,1999,21(2):250-51.

中国地质科学院勘探技术研究所7项地质调查项目通过验收

本刊讯 中国地质科学院勘探技术研究所承担的地质调查项目已有7项分别于2001年6月14日、2002年6月29日、2002年12月26日、2003年7月27日通过由中国地质科学院组织的项目验收。

YZX127 液动潜孔锤的研究:取得了突破性进展,被评为优秀级。目前,该项技术在中国大陆科学钻探科钻一井钻深已超过3600m(至2003年9月20日),累计钻进工作量已达2025m,已成为科钻一井必不可少的碎岩工具之一。

组合钻探工艺研究:在松散破碎地层空气反循环潜孔锤钻进,判层及时准确,能满足地质要求;在复杂矿化带构造砾石中使用水力反循环潜孔锤钻进,采心率达100%;在一般地层中使用绳索取心钻进,采心率高,明显降低了钻探成本。被评为优秀级。

DSZ 锚固钻孔技术与开发:实现了用单动力头钻机和套管连接器完成双管钻进,这在国内外锚固施工中属创新,不仅为大孔、深孔套管护壁钻进创造了条件,还提高了钻进效率,简化了钻机结构。

矿产资源调查评价空气反循环钻探技术配套示范研究与开发:首次在国内运用了钻杆外环隙封隔技术,该技术与雾化钻进技术配合,提高了复杂地层、地下水微渗透地层的样品采取率,防止了在该

类地层中进行空气反循环钻探时易于出现的钻孔缩径效应。

江河堤坝防渗加固高压旋喷注浆技术与开发:完成了三管高喷设备的配套选型。在黄壁庄水库施工证明配套设备的综合性能完全能满足江河堤坝防渗加固三管旋喷、摆喷、定喷建造大深度永久性防渗加固连续墙的设计施工要求。

CD-3型岩心钻机推广应用:吸取原岩心钻机优点,设计布局合理,性能先进,工作可靠性高,用途广泛,对各种钻探工艺适应性强,特别是钻机的不停车自动倒杆性能深受工人们的欢迎。

微机自动控向垂钻系统之测斜和执行机构的研究:该项目研究的微机自动控向垂钻系统之测斜单元,具有测斜精度较高、适应性较好、数据稳定性较好等特点;其执行机构采用压力控制性纠偏系统,基本解决了安装空间狭小的各项技术难题,油压回路动作工作基本正常;探索出一套由随钻测量、数据采集、纠偏执行等单元组成的井下闭环控制垂向钻进系统。被评为良好级。同时按照中地调函[2002]200号文件精神于2003年9月8日全部完成成果资料汇交工作。

(中国地质科学院勘探技术研究所科技处 供稿)

“气动夯管锤及其铺管工艺研究”科技成果荣获2003年国土资源科学技术二等奖

本刊讯 由中国地质科学院勘探技术研究所完成的“气动夯管锤及其铺管工艺研究”科技成果荣获2003年国土资源科学技术二等奖。该项目采取边研究边滚动发展的研究模式,在过去的几年里,先后研制出H110、H190、H260、H300、H350、H420、H510等7种不同型

号的系列产品,几年来共销售不同型号的夯管锤51台套,创产值1008万元,用户遍及地矿、煤炭、石油、自来水、煤气、天然气、电力、电信、铁道等部门,为单位的经济发展做出了重大贡献。

(中国地质科学院勘探技术研究所科技处 供稿)