

含软弱夹层的某坡积土边坡 抗滑桩加固可行性分析

王 毅¹, 沈芝莹², 张 诚³

(1. 淮安市淮河水利建设工程有限公司, 江苏 淮安 223400;
2. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223005; 3. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223001)

摘要:为了研究采用抗滑桩加固含软弱夹层的坡积土边坡的合理性,以某天然边坡为例,采用有限元法和强度折减法定量分析计算了该边坡采用抗滑桩加固前后的应力应变状态和稳定性大小。计算结果表明:抗滑桩可以有效地遏制潜在滑坡体的进一步变形和塑性区扩展,加固后边坡整体稳定性明显提高,整体垮塌的地质灾害风险得到控制,抗滑桩桩体的受力和变形均在设计允许值范围内,说明抗滑桩设计采用的相关力学参数和强度参数是合理可行的。相关计算成果可为今后类似边坡工程的抗滑桩设计提供参考和借鉴。

关键词:抗滑桩; 边坡; 坡积土; 有限元; 应力应变

中图分类号:TU457 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2020)04-0045-04

Feasibility analysis of anti – slide pile reinforcement for a slope – soil slope with soft interlayer

WANG Yi¹, SHEN Zhiying², ZHANG Cheng³

(1. Huai'an Huaihe Water Conservancy Construction Engineering Co. , Ltd. , Huai'an 223400 , Jiangsu ;
2. Huaian Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co. , Ltd. , Huaian 223005 , Jiangsu ;
3. Jiangsu Huaiyin Conservancy Construction Co. , Ltd , Huaian 223005 , Jiangsu)

Abstract: In order to study the rationality of using anti – slide pile to reinforce the slope with soft interlayer , a natural slope was taken as an example. The stress – strain state and stability of the slope before and after reinforcement with anti – slide pile were calculated by using the finite element method and strength reduction method. The results showed that the anti – slide piles could effectively prevent the further deformation and plastic zone expansion of the potential landslide mass. After reinforcement , the overall stability of the slope was significantly improved , and the risk of the overall collapse of the geological disaster was controlled. The stress and deformation of the anti – slide pile were within the allowable range of design , which showed that the relevant mechanical parameters and strength parameters used in the design of anti – slide pile were reasonable and feasible. The relevant calculation results could provide reference for the design of anti – slide pile in similar slope engineering in the future.

Key words: anti – slide pile ; slope ; slope soil ; finite element ; stress and strain

收稿日期:2019-11-02

作者简介:王毅(1986—),男,工程师,主要从事水利工程相关工作。

坡积土是野外山地一种常见的岩体碎屑物质,在自然作用下不断运移堆积在稳定岩层上部而形成的结构体。因此,坡积土的物理性质主要有结构松散,组成岩屑粒径大小不一,渗透性强,由于坡积土抗剪强度较低,在外界作用下极易发生滑坡灾害,有必要采取加固措施预防坡积土边坡垮塌^[1-3]。

目前,传统的极限平衡法仅能得到条块的受力情况和一个稳定安全系数^[4],而岩体材料多为弹塑性单元体,极易发生塑性变形和破坏,但传统极限平衡法无法分析计算各种不利工况下的边坡弹塑性变形^[5-6],因此,基于连续介质理论的数值分析法(有限元法)应运而生,数值分析法不仅可以计算稳定系数,还可以分析位移变形、应力应变和塑性破坏情况^[7-9]。

1 计算方法和计算模型建立

采用有限元强度折减法分析边坡稳定,主要是通过折减岩体的抗剪强度参数,一般认为抗剪强度参数涉及黏聚力和内摩擦角,不断折减循环计算,直到塑性区贯通了边坡内部岩体,将此时的折减系数定义为边坡安全系数^[10-13]。

本次涉水岸坡加固的数值计算分析选取一典型案例进行分析,勘察报告显示,该岸坡表层覆盖了厚度大约 5 m 的坡积土,最底部是中风化基岩(砂岩),而基岩与坡积土中间夹杂着 1 层厚度 1 ~ 2m 的软弱夹层,可视滑带土,岩体抗滑强度参数相对较低,对整个边坡的稳定性起着至关重要的作用,该边坡整体稳定性较低,应采取相应的加固措施。首先,对工程研究对象进行模型选取和建立,选取一典型横断面进行分析,边坡坡角度 38°,而边坡坡脚以上高 12 m,是典型的坡积土陡坡,根据地质报告情况,建立了边坡内部的软弱夹层,其走向与边坡走向基本一致,这不利于边坡的整体稳定,因此,建议在潜在滑坡体的中前端位置打抗滑桩进行边坡加固。同时为了克服有限元分析计算时的边界效应,高度向下延长深度 8 m,为 20 m,长 30 m,最终建立的分析模型如图 1 所示,模型考虑了天然地下水的影响。

在有限元分析中,将抗滑桩视为一种弹性刚体构件,通过赋予抗滑桩的强度参数来进行模拟计算。本次加固采用的抗滑桩轴向刚度 1×10^6 kN,抗弯刚度 EI 为 1.8×10^5 kN·m²,抗滑桩为圆柱形,其直径 d 为 1.5 m,纵向间距 5 m。根据初步设计报告中的计算结果,该抗滑桩桩长 6 m,其中打入软弱夹

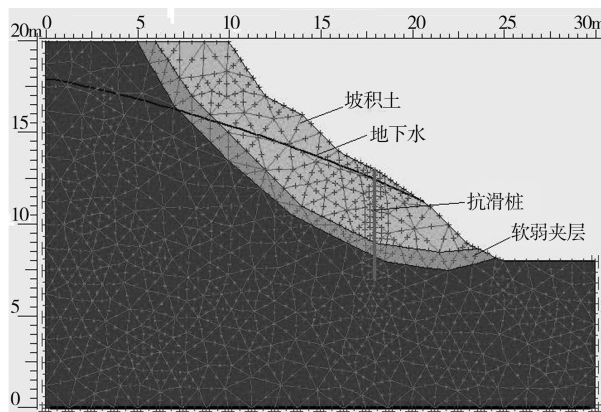


图 1 岸坡几何尺寸、边界条件及有限元网格划分
层 2 m,长度占总桩长的 1/3,有利于平衡工程投资和边坡工程足够稳定。其余的岩体力学计算参数参考了该边坡的地质勘察报告,见表 1。

表 1 边坡岩体物理力学参数

岩体材料	重度/ (kN·m ⁻³)	黏聚力/ kPa	内摩擦角/ (°)
坡积土	18.9	16	26
软弱夹层	18.3	9	23
基岩	23.6	120	35

2 计算结果分析

2.1 边坡变形分析

首先,导出了该边坡工程加固前后岩体位移变形趋势图,见图 2 所示,(a)图为天然状态,(b)图为抗滑桩激活后的趋势图。分析可知,在边坡加固前,潜在滑坡体主要沿着软弱夹带缓慢蠕动,由于滑带土走向与边坡顺层走向一致,更加加剧了这一现象,其余部位主要表现为重力作用的沉降,但是不明显。而当抗滑桩激活后,可以明显看出边坡位移变形得到有效控制(箭头长度越长表示位移越大),尤其是潜在滑坡体前端的位移变得非常小,抗滑桩有效地遏制住了滑坡体的进一步发展,将下滑力部分传入基岩,从而抵抗变形。

滑坡滑动主要是因为岩土体的抗剪强度不足以抵抗滑坡的下滑力,因此,还需分析抗滑桩加固前后边坡岩体的剪应变分布情况,有利于了解内部应变趋势,如图 3 所示。可以发现,抗滑桩加固前该边坡软弱夹层内剪应变集中分布,最大为 $91.1 \times 10^{-3}\%$,主要分布在潜在滑坡体的中部,前部也有分布,几乎贯通,而当激活抗滑桩后,该边坡软弱夹层

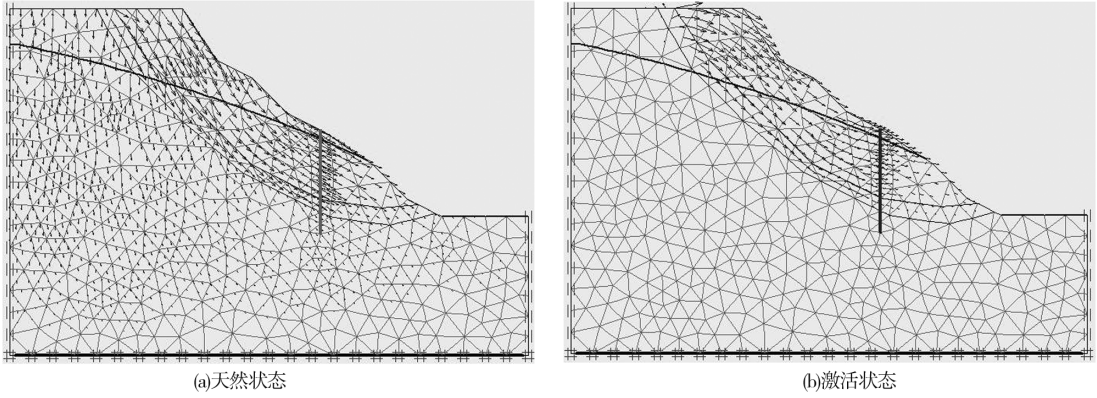


图 2 抗滑桩激活前后岸坡岩体位移变形趋势

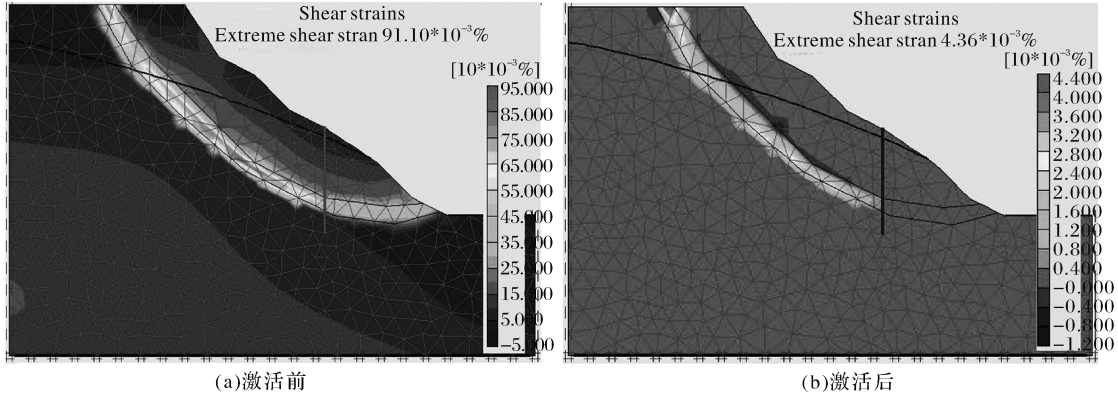


图 3 抗滑桩激活前后岸坡岩体剪应变分布云图

内的剪应变得到及时控制,抗滑桩前端的剪应变几乎消失,抗滑桩后部的剪应变也大大减小,最大值也仅有 $4.36 \times 10^{-3}\%$,位于软弱夹层顶部出漏处,说明此时潜在滑坡体后缘有出现细小裂隙的可能。

2.2 边坡稳定性分析

采用强度折减法计算了该边坡加固前后的安全系数以及极限破坏时岸坡的变形状态,如图 4 所示。分析可知:抗滑桩加固前该边坡稳定安全系数仅有 1.13,稳定性较差,遇到极端不利情况时表层坡积土可将沿着软弱夹层顺层滑动,从坡脚位置滑出,并形成明显的剪出口,发生整体垮塌,造成较大

的安全事故。而当采用抗滑桩加固后,该边坡稳定安全系数增至 1.75,提高了 55%,大大提高了边坡的整体稳定性,而且此时剪出口消失,边坡的破坏模式也从整体滑动变为中后部的沉降变形破坏,有效的控制了滑坡的大面积垮塌,减小了地质灾害的威胁。

2.3 抗滑桩受力变形分析

由于本次数值分析计算将抗滑桩视为一种弹性刚体构件,并赋予了相关强度参数,因此有必要分析抗滑桩的变形和受力情况。结果如图 5 所示,变形讨论的是桩体的整体位移,受力给出了桩

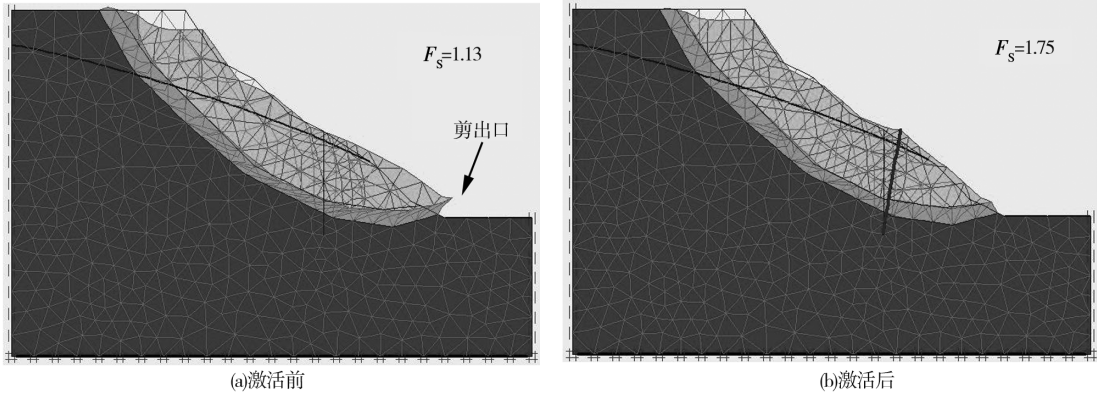


图 4 抗滑桩激活前后岸坡极限变形状态

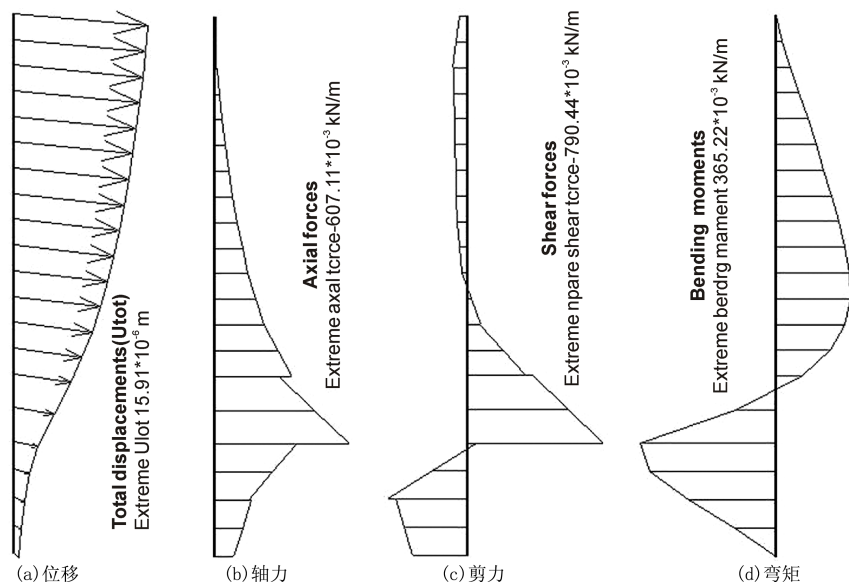


图5 抗滑桩加固后桩体受力变形

体轴力、剪力和弯矩。分析桩体位移可知,抗滑桩从下到上位移逐渐增加,最大位移变形位于桩体最上部,但是数值也非常小,几乎可以忽略不计。而抗滑桩受到的轴力、剪力和弯矩的极值均位于同一部位,即4 m 深度的地方,刚好为桩体插入基岩的位置,轴力、剪力和弯矩的最大值分别为 $-607.11 \times 10^{-3} \text{ kN}$ 、 $-790.44 \times 10^{-3} \text{ kN}$ 、 $365.22 \times 10^{-3} \text{ kN} \cdot \text{m}$,均为超过设计允许值,说明设计的抗滑桩相关参数是合理的。此外,轴力为负值,说明状态的整个受力状态主要表现为受压,即坡体的下滑力通过抗滑桩垂直向下传递给基岩,整个状态更加有利于坡体的整体稳定。

3 结 语

本文以某含有软弱夹层的坡积土边坡为例,采用有限元法和强度折减法计算了该边坡采用抗滑桩加固前后的应力应变状态和稳定性大小,通过计算结果验证抗滑桩的结构设计,相关结论如下:

(1)采用抗滑桩加固可以有效地遏制住了滑坡体的进一步变形,将下滑力部分传入基岩,从而抵抗位移变形,而且边坡软弱夹层内的剪应变也可以得到及时控制,塑性区不再贯通软弱夹层。

(2)采用抗滑桩加固后,该边坡稳定系数显著提高,边坡的整体稳定性良好,边坡的破坏模式从整体滑动变为中后部的局部沉降变形破坏,遏制了滑坡潜在的大面积垮塌,减小了地质灾害的威胁。

(3)抗滑桩桩体的受力和变形均在设计允许值范围内,说明抗滑桩设计采用的相关力学参数和强度参数是合理可行的。

参考文献:

- [1] 李辉. 黄土质深路堑边坡雨水入渗稳定性影响及锚固整治研究[J]. 水利技术监督, 2018(5):197-199.
- [2] 皱丽春, 王国进, 汤献良, 等. 复杂高边坡整治理论与工程实践[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006.
- [3] 雷文杰, 郑颖人, 冯夏庭. 滑坡加固系统中沉埋桩的有限元极限分析研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(1):27-33.
- [4] 刘林军. 基于强度折减法的水库泄洪洞边坡稳定分析[J]. 水利规划与设计, 2013(5):61-64.
- [5] 李荣建, 于玉贞, 李广信. 土质边坡中部与顶部抗滑桩动力响应和边坡变形比较[J]. 山地学报, 2010, 28(2):135-140.
- [6] 张璐, 任旭华, 张继勋, 等. 考虑抗滑桩埋深的边坡抗滑机理研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(4):73-75.
- [7] 熊斌. 基于 ANSYS 软件的边坡开挖模拟和稳定性评价[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(2):64-67.
- [8] 郑颖人, 赵尚毅, 张鲁渝. 用有限元强度折减法进行边坡稳定分析[J]. 中国工程科学, 2002, 4(10):57-62.
- [9] 张华南. 白鹤滩水电站高边坡开挖与质量控制技术应用[J]. 水利技术监督, 2018(5):244-246.
- [10] 郑颖人, 陈祖煜, 王恭先, 等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京:人民交通出版社, 2007.
- [11] 郑颖人, 雷文杰, 赵尚毅, 等. 抗滑桩设计中的两个问题[J]. 公路交通科技, 2005, 22(6):45-51.
- [12] 黎桂林. 高陡边坡开挖支护技术在水利工程边坡处理中的应用研究[J]. 水利技术监督, 2019(3):218-221.
- [13] 崔洁. 不同库水位升降速度对大坝边坡稳定性的影响研究[J]. 水利水电技术, 2017, 48(2):155-159.