

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2018.06.006

埋入式双排桩在土质滑坡治理工程中的应用

廖文峰, 张志军*

(南华大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘要:埋入式双排桩由于具有整体刚度大、抗侧移刚度大及抗滑能力强且受力合理等优点,因而被广泛应用在深基坑支护与大型滑坡治理工程中.以某土质滑坡为例,利用 MIDAS/GTS 分别对未治理的土质滑坡和采用埋入式双排桩支护后的土质滑坡进行数值模拟分析,从坡体稳定安全系数、坡体位移变形及剪应变三个方面进行了对比分析.研究表明:采用埋入式双排桩对该滑坡进行治理后,坡体的稳定安全系数由 1.087 5 提高到 1.487 5,边坡达到稳定状态.同时坡体的大位移变形区域和最大位移量也有大幅度减小、剪应变带明显消失且剪应变大小得到有效控制,边坡治理效果明显.

关键词:双排桩;边坡稳定;数值模拟;MIDAS/GTS;剪应变

中图分类号:TU476 **文献标志码:**B **文章编号:**1673-0062(2018)06-0037-07

Application of Buried Double-row Piles in Soil Landslide Treatment Engineering

LIAO Wenfeng, ZHANG Zhijun*

(School of Resource & Environment and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Buried double-row piles are widely used in deep foundation pit support and large landslide treatment projects because of their advantages of large overall stiffness, large lateral stiffness resistance, strong anti-sliding ability and reasonable force. Take a soil landslide as an example, using MIDAS/GTS to numerically simulate the untreated soil landslide and the soil landslide after the embedded double-row pile support. A comparative analysis was made from these three aspects: the slope stability safety, slope displacement deformation and the shear strain. The research shows that after the landslide is treated by the embedded double-

收稿日期:2018-08-27

作者简介:廖文峰(1985-),男,在职研究生,主要从事岩土工程方面的研究.E-mail:29499464@qq.com. *通信作者:张志军(1978-),男,博士生导师,教授,主要从事岩土工程灾害预测与控制方面的研究.E-mail:29413912@qq.com

le-row pile, the stability safety factor of the slope is increased from 1.087 5 to 1.487 5, and the slope reaches a stable state. At the same time, the large displacement deformation area and the maximum displacement of the slope body are also greatly reduced, the shear strain band disappears obviously and the shear strain is effectively controlled. What's more, the slope treatment effect is obvious.

key words: double-row pile; slope stability; numerical simulation; MIDAS/GTS; shear strain

0 引言

在大型滑坡或重要滑坡治理工程中,往往下滑力较大,单排桩很难保证坡体的稳定性或很难控制边坡坡体的进一步变形发展.因此在大型滑坡或重要滑坡治理工程中,更多的是采用双排桩对其进行治理.埋入式双排桩作为一种具有抗侧移、抗滑移能力大的新型支挡结构,在滑坡治理工程中的应用研究越来越受到研究人员的重视,研究人员也做了大量的研究工作^[1-8].林鹏、王艳峰^[9]等以沿海某城市的软土深基坑为例,采用有限元软件 plaxis 对影响双排桩支护效果的因素进行了研究,提出了影响双排桩支护基坑效果的最重要的因素是桩排距与连梁的刚度大小.杜秀忠、杨光华^[10]等以某水闸基坑为研究对象,分别采用 MIDAS/GTS 与理正双排桩程序对双排桩支护结构的位移、应力以及土压力分担比进行了对比分析,提出了前后排桩的土压力分担比对双排桩的受力性能、位移变形具有重要影响.范秋雁、许胜才^[11]等考虑到双排桩受到空间条件的制约,根据位移协调关系,采用幂级数方法对双排桩的各截面内力进行了分析,提出了对双排桩设计有关的一些建议.王星华、谢李钊^[12]等通过建立双排桩的计算模型,对不同开挖深度的双排桩内力、变形及土体位移进行了研究,提出桩排距大小约为 3~4 倍桩径且开挖深度约为桩长的 0.5 倍时,双排桩对基坑的支护效果最好.刘泉声、付建军^[13]等通过建立双排桩平面杆系数数值模型,对双排桩的土压力分布规律、弹性抗力系数以及相关参数进行了一系列的研究,编制了可对双排桩进行计算的 doublerowpile 与 doublerowpileparameter 程序,能对双排桩的弹性抗力系数进行准确取值.孙勇^[14]结合结构力学方法,对滑动面下的双排桩结构及滑动面上的双排桩承受的土压力进行了研究,提出双排桩的冠梁与桩的刚度比应保持在一定范围内,且应慎重考虑双排桩施工过程中的土体开挖.

本文在对湖南某希望学校滑坡进行综合分析的基础上,利用有限元软件 MIDAS/GTS 对采用埋入式双排桩支护前和埋入式双排桩支护后的坡体进行了数值模拟分析,从坡体的稳定安全系数及位移变形、剪应变等方面进行了综合分析.

1 工程概况

1.1 基本情况

某希望中学滑坡位于湖南省吉首市,根据相关资料结合现场调查和钻探取样综合分析,滑坡体纵向长约 214 m,横向宽 45~190 m,滑坡面积约 20 000 m²,滑体厚度 6.00~20.70 m.滑坡区所在位置标高 165.00~244.00 m,相对高差约 79 m,滑坡后缘为一坡向南西的陡斜坡(坡角 40°~45°),坡顶标高约 265.00 m,坡底标高 239.54 m,高差 25.46 m,坡面基岩裸露,宽约 26 m,滑坡东西两侧为山脊地形,西侧山脊走向约 22°,滑坡所在区域地形图如图 1 所示.该滑坡为一土质滑坡,形成时间较早,1998 年 5 月 16 日在连续强降雨条件下发生过一次强烈变形,滑坡左侧下滑造成 9 间砖混结构房屋被毁,直接经济损失 450 000 元.近年来滑坡有断续变形现象,目前处于缓慢蠕动变形阶段,一旦滑坡失稳,将会对滑坡体上的 5 栋学校教学楼、学生宿舍、教职工宿舍、幼儿园、学校食堂等主楼群及 700 余人的生命和财产安全造成毁灭性的打击.经综合考虑决定,采用埋入式双排桩对其进行治理,埋入式抗滑桩分两级布置,排距为 50 m,共 32 根抗滑桩,第一排埋入式抗滑桩布置于滑坡体中上部平缓地段,具体位置为学校后山上水池附近,桩截面尺寸为 1.5 m×2.0 m,距桩顶 0.5 m 处依次往下设置三排预应力锚索,锚索间距为 3 m,倾角为 20°.第二排埋入式抗滑桩布置于滑坡中下部学校后缘平缓处,截面尺寸为 1.5 m×2.0 m,距桩顶 0.5 m 处桩身设置 1 排倾角为 20°的预应力锚索.

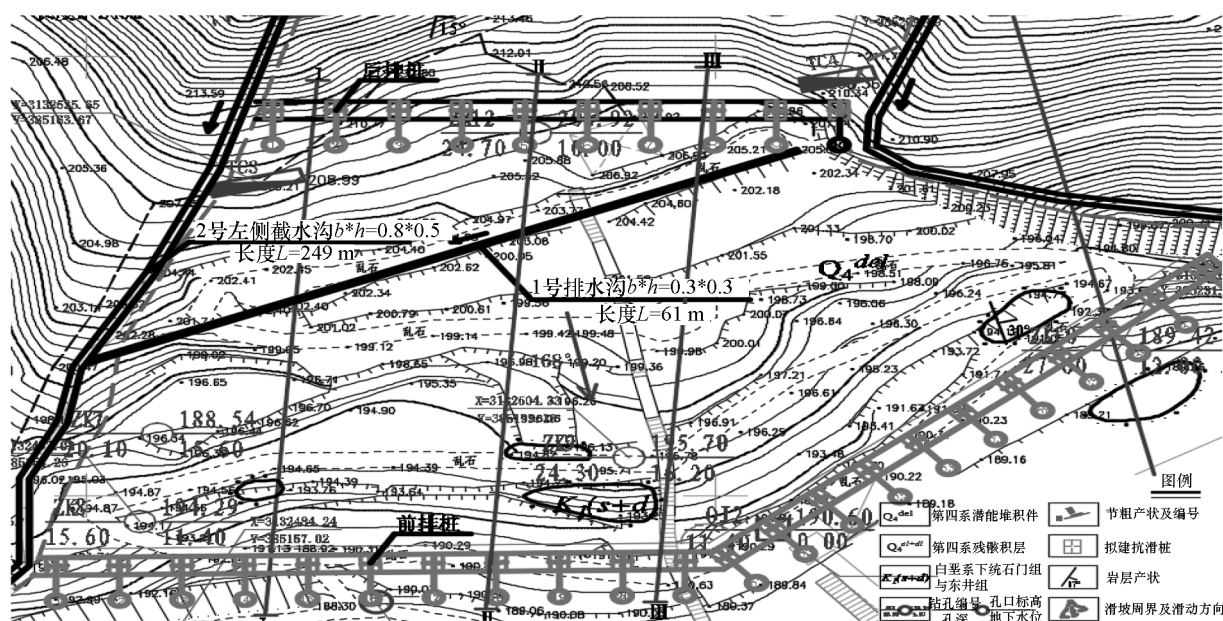


图 1 某希望学校滑坡所在区域地形图

Fig.1 A Topographic map of the landslide area of a school

1.2 工程地质情况

根据区域地质资料结合本次勘查钻探成果,滑坡区地层岩性有第四系与白垩系,土层由新至老分述如下:

1) 第四系滑坡堆积物(Q_4^{del})

主要由含碎、块石粉质粘土及块石(Q_4^{del})组成,紫红色,前者土体中含 15%~40%的强至中风化泥岩及粉砂岩碎、块石,次棱角状,粒径 20~700 mm,分布不均匀;粉质粘土含量大于 50%,可塑状态,局部为软塑,切面有砂感,稍有光泽,韧性及干强度中等,无摇振反应。后者块石含量大于 65%,块石成分为强至中风化泥岩及粉砂岩,次棱角状与巨型块状,粒径 200~5 000 mm 不等,块石间粉质粘土及角砾、碎石充填。该层主要分布于滑坡区山体斜坡部位,厚度 6.00~20.70 m。

2) 白垩系下统石门组与东井组($K_{1(s+d)}$)

主要岩性为紫红色砂质泥岩夹泥质粉砂岩或互层,主要特征如下:

(1) 砂质泥岩:紫红色,主要成分为粘土矿物、石英、长石、云母等,中-厚层状,泥砂质结构,泥质胶结。根据风化程度可分为强风化、中风化两层。强风化层岩体破碎,节理裂隙发育,岩芯呈块状、饼状为主,手捏易碎,岩芯采取率低,钻进速度快,浸水、暴露地表易软化崩解,钻孔揭露厚度 0.50~3.70 m,分布不广泛,仅局部不连续分布。中风化层岩质较软,岩体较完整,钻进中下降较快,岩

芯久置易干裂、崩解,岩体基本质量等级为 V 级。控制深度内单层厚度 1.30~12.40 m,岩体结构类型为层块状结构。

(2) 泥质粉砂岩:与砂质泥岩互层或为夹层,主要成分为石英、长石、粘土矿物、云母等,砂质结构,中厚层状,钻孔控制深度范围内全为中风化,颜色为赭色,较软岩,岩体基本质量等级为 IV 级,抗风化能力较差。岩体较破碎至较完整,节理裂隙较发育,岩芯呈块状与长柱状。一般厚度 0.70~4.10 m。

根据滑坡变形破坏形态与特征,结合现场勘察成果,选择该滑坡的最危险断面为 II-II, II-II 工程地质剖面图如图 2 所示。

2 埋入式双排桩支护前与支护后的数值模拟

2.1 参数的选取

根据现场勘察钻探及室内试验数据,参考相关规范取值,并结合工程经验,该滑坡治理工程的土层物理力学参数及支挡结构参数见表 1 所示。

2.2 数值计算模型的建立

通过将最危险剖面 II-II 导入 MIDAS/GTS 中,并根据表 1 数据对各种材料属性进行定义。模型为二维数值分析模型,尺寸大小为 170 m×80 m,共划分为 8 864 个单元,15 623 个节点。分别设置桩界面接触与锚索界面接触来模拟抗滑桩与土体、预应

力锚索与土体的相互作用.同时将教学楼与幼儿园等建筑荷载等效为均布荷载作用在坡体上.最危险Ⅱ-Ⅱ剖面有限元网格模型如图3所示.

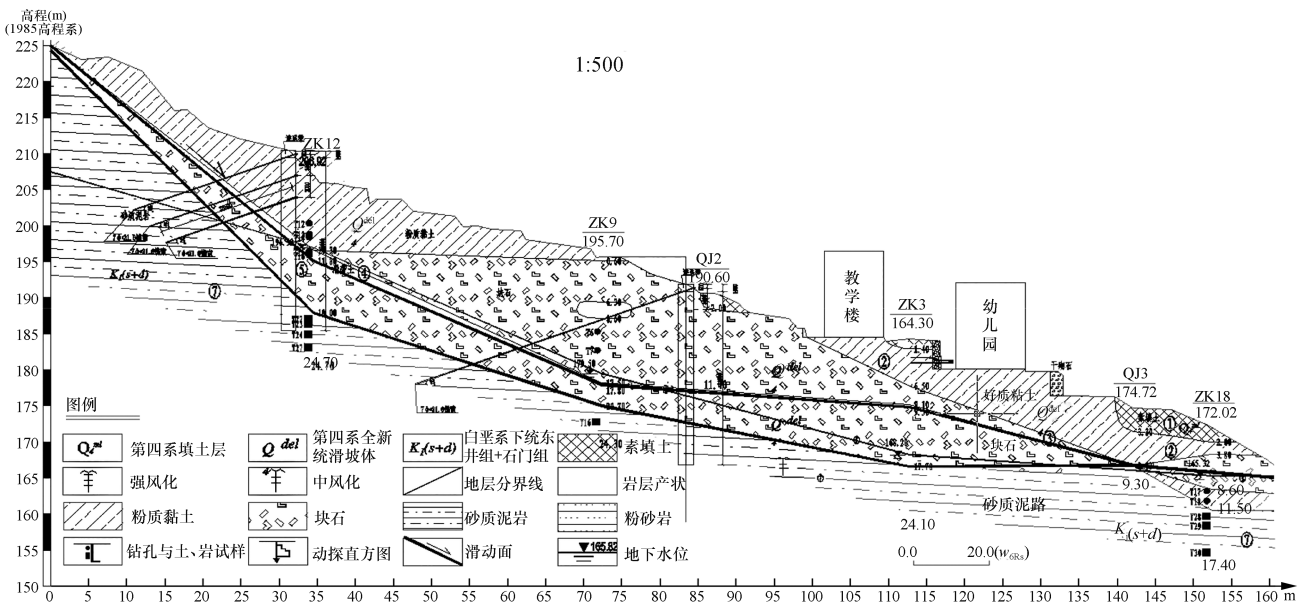


图2 最危险Ⅱ-Ⅱ断面工程地质剖面图

Fig.2 The most dangerous Ⅱ-Ⅱ section engineering geological profile

表1 土层物理力学参数及支挡结构参数表

Table 1 Physical and mechanical parameters of soil layer and the parameters of the supporting structure							
材料名称	泊松比 ν	弹性模量 E $/(kN \cdot m^{-2})$	干重度 γ $/(kN \cdot m^{-3})$	饱和重度 γ $/(kN \cdot m^{-3})$	内摩擦角 φ $/(^{\circ})$	粘聚力 C $/(kPa)$	本构模型
素填土	0.2	20 000	18.5	19.5	31	13	摩尔库伦
含碎石粉质黏土	0.24	24 000	20	21	12	17.5	摩尔库伦
块石	0.25	15 000	22	23	29	0	摩尔库伦
滑带土	0.19	20 000	20	21	11.5	17	摩尔库伦
强风化砂质泥岩	0.26	30 000	23.5	24.5	25	80	
中风化砂质泥岩	0.3	4 000 000	24	24.5	34.5	8 600	
桩	0.2	30 000 000	24	24	—	—	弹性
锚索	0.3	200 000 000	78	78	—	—	弹性
挡土墙	0.23	12 000 000	23	23	45	300	弹性

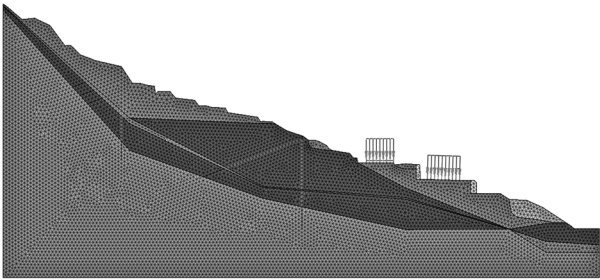


图3 Ⅱ-Ⅱ剖面有限元网格模型

Fig.3 The finite element mesh model of Ⅱ-Ⅱ profile

3 计算结果及分析

3.1 坡体稳定安全系数结果与分析

MIDAS/GTS 中采用边坡稳定安全系数大小

来反映坡体的稳定情况,通过 SAM 法对最危险剖面进行分析计算发现,Ⅱ-Ⅱ剖面在天然工况条件下,坡体的稳定安全系数为 1.087 5,处于欠稳定状态,当遇强降雨条件时,雨水沿着裂隙进入岩土体中,会导致岩土体抗剪强度降低、自重增加,进而会导致坡体进一步滑移,严重威胁坡体上教学楼及幼儿园的安全使用及师生的生命财产安全.采用双排桩加固后,由于抗滑桩与岩土体的嵌固作用以及与岩土体的摩擦作用,能有效稳固坡体,坡体的稳定安全系数提高到 1.487 5,安全系数提高了 36.8%,坡体处于稳定状态,说明埋入式双排桩的设置对坡体的稳定起到了很好的作用.

3.2 坡体位移变形结果及分析

坡体的位移变形是判定坡体是否发生滑移的重要依据,在 MIDAS/GTS 中,对二维边坡模型进行分析时, X 、 Y 方向的位移云图可直观反映坡体上不同位置处岩土体的运动情况.图 4、图 5 分别为埋入式双排桩支护前 II-II 剖面 X 、 Y 方向的位移云图,图 6、图 7 分别为采用埋入式双排桩支护后 II-II 剖面 X 、 Y 方向的位移云图.

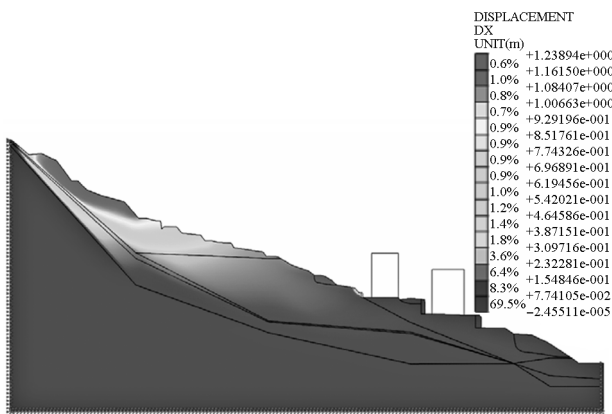


图 4 埋入式双排桩支护前 X 方向的位移云图

Fig.4 The displacement cloud diagram of the X direction before the embedded double-row pile support

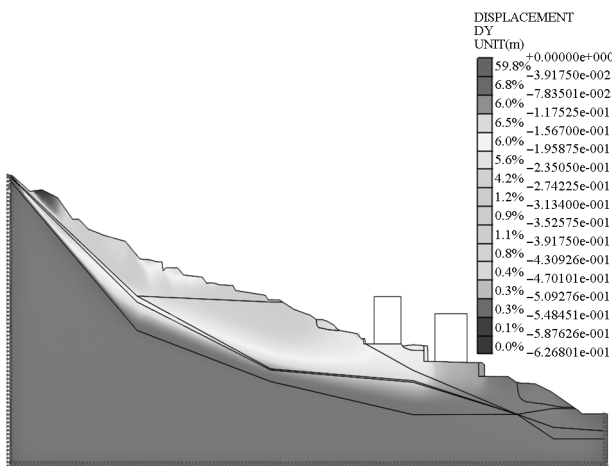


图 5 埋入式双排桩支护前 Y 方向的位移云图

Fig.5 The displacement cloud diagram of the Y direction before the embedded double-row pile support

由图 4 可知,自然状态下,II-II 剖面在埋入式双排桩支护前 X 方向的最大位移发生在坡顶处,最大位移大小为 1.239 m,同时教学楼后挡土墙墙顶处土体也有小范围发生了位移,位移大小为 0.23~0.70 m.而由图 6 可知,采用埋入式双排桩支护后,由于双排桩能有效抵抗上部土体的横

向变形,II-II 剖面 X 方向的最大位移虽仍发生在坡顶处,但最大位移大小仅为 0.616 m,最大位移减少了一半,且发生较大位移的区域相较双排桩支护前也有大幅减小.教学楼后挡土墙墙顶处的土体也得到了稳固,几乎不发生位移.比较图 5 与图 7 可知,II-II 剖面 Y 方向的最大位移在埋入式双排桩支护前为 0.628 m,而采用埋入式双排桩支护后的最大位移减小为 0.295 m,减少了 53.1%,且采用埋入式双排桩支护后,坡体发生较大位移的区域被双排桩分割成了三个独立的区域,有效减弱了坡体的竖向变形破坏.因此,采用埋入式双排桩对该坡体进行治理,可有效阻止坡体上土体的位移变形,防止坡体因发生大位移变形而破坏.

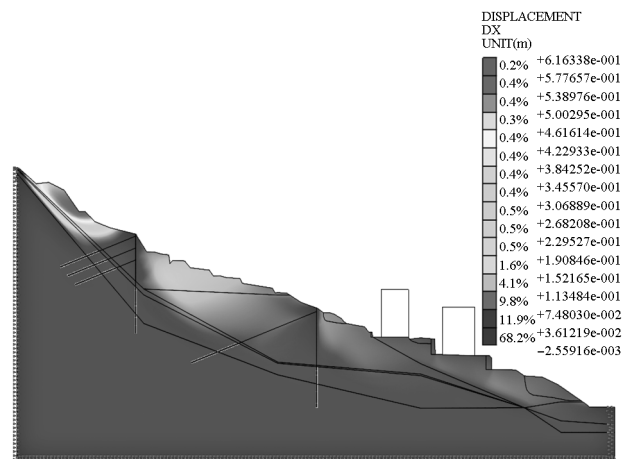


图 6 埋入式双排桩支护后 X 方向的位移云图

Fig.6 The displacement cloud diagram of the X direction after the embedded double-row pile support

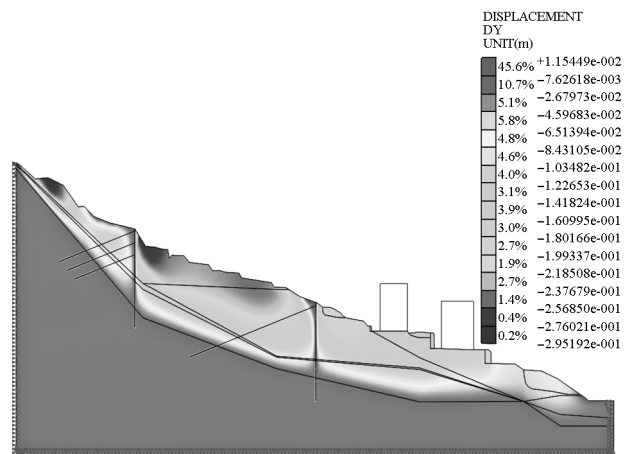


图 7 埋入式双排桩支护后 Y 方向的位移云图

Fig.7 The displacement cloud diagram of the Y direction after the embedded double-row pile support

3.3 坡体剪应变结果及分析

在 MIDAS/GTS 中,坡体的剪应变是反映坡体变形破坏的重要指标,也是判断坡体变形破坏位置的主要依据.图 8、图 9 分别为双排桩支护前 II-II 剖面 X、Y 方向的剪应变云图,图 10、图 11 分别为采用双排桩支护后 II-II 剖面 X、Y 方向的剪应变云图.

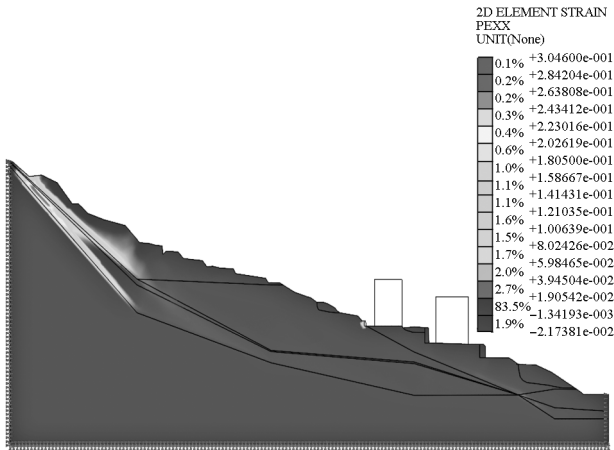


图 8 埋入式双排桩支护前 X 方向的剪应变云图

Fig.8 The shear strain cloud diagram of the X direction before the embedded double-row pile support

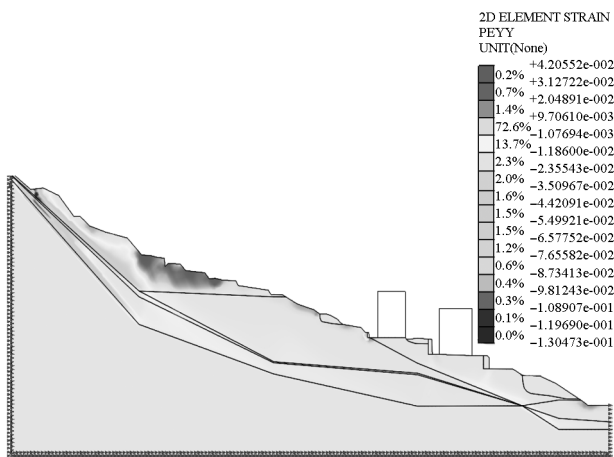


图 9 埋入式双排桩支护前 Y 方向的剪应变云图

Fig.9 The shear strain cloud diagram of the Y direction before the embedded double-row pile support

由图 8 可知,双排桩支护前,II-II 剖面 X 方向的剪应变的发生位置主要发生在坡体上部粉质黏土与碎石土交界面处及碎石土与泥质粉砂岩交界面处,存在两条明显的剪应变带,最大剪应变大小为 0.305,同时教学楼后挡土墙附近也有部分土体存在较大剪应变.而由图 10 可知,采用双排桩

支护后,II-II 剖面 X 方向的剪应变发生区域明显减小,剪应变带基本消失,且最大剪应变大小仅为 0.164,相较支护前减小 46.2%,且教学楼后挡土墙附近土体的剪应变几乎可以忽略.比较图 9、图 11 可知,双排桩支护前,II-II 剖面 Y 方向的剪应变也存在两条明显的剪应变带,最大剪应变大小为 0.130,采用双排桩支护后,II-II 剖面 Y 方向剪应变带几乎消失,只有抗滑桩后附近局部土体存在剪应变,且最大剪应变大小仅为 0.062,减小幅度达 52.3%.因此,采用埋入式双排桩对该土质边坡进行加固,可有效减弱坡体上土体的剪切变形,从而保证边坡滑动面处的土体不会发生剪切变形而破坏.

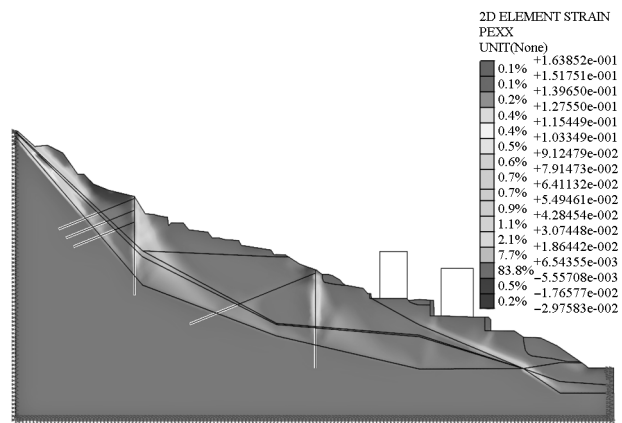


图 10 埋入式双排桩支护后 X 方向的剪应变云图

Fig.10 The shear strain cloud diagram of the X direction after the embedded double-row pile support

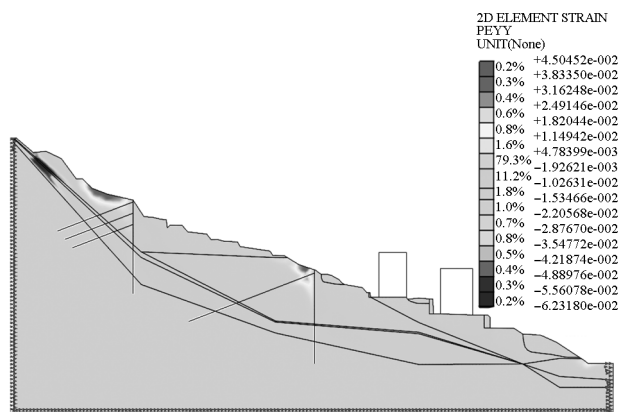


图 11 埋入式双排桩支护后 Y 方向的剪应变云图

Fig.11 The shear strain cloud diagram of the Y direction after the embedded double-row pile support

3.4 设计方案效果监测

由于该滑坡的安全涉及该坡脚某希望学校众

多师生的生命财产安全,为确保该滑坡的安全,施工阶段按照设计要求进行分段分层开挖,同时在滑坡治理施工期间及施工结束后在坡体上设置了位移监测点,反映该坡体的位移变形.位移监测点沿坡脚至坡顶按照规范要求,每隔一定间距布置一处.所研究的最危险Ⅱ-Ⅱ剖面一共布置6处监测点.监测频率为:1)滑坡治理施工期间为每2 d观测一次;2)滑坡治理工程竣工后为每7 d观测一次.根据近一年的监测数据显示,该滑坡在施工期间及施工结束后,坡体的位移变形较小, X 方向的最大位移发生在坡顶,与数值模拟结果一致,最大位移大小为20.3 mm. Y 方向的最大位移也发生在坡顶,也与数值模拟结果一致,最大位移大小为29.8 mm.满足规范要求.因此该滑坡采用埋入式双排桩进行治理,效果明显,可为类似工程提供借鉴.

4 结 论

本文采用数值模拟方法对采用埋入式双排桩支护前、后的某希望学校土质滑坡进行了对比研究,得到如下结论:

1)所研究边坡在自然状态下处于欠稳定状态,采用埋入式双排桩支护后,坡体能得到有效稳固,坡体的稳定安全系数由1.087 5提高到1.487 5,高于规范规定的要求,坡体处于稳定状态.

2)采用埋入式双排桩支护后,该边坡 X 、 Y 方向的最大位移大小与发生位移较大的区域均有大幅度减小,采用埋入式双排桩的治理方法可以有效控制该坡体的位移变形破坏.

3)采用埋入式双排桩支护后,该边坡 X 、 Y 方向的两条明显的剪应变带均消失了,且剪应变大小有大幅度减小,采用埋入式双排桩的治理方法可以有效控制该坡体的剪切变形破坏.

4)监测数据结果显示该边坡最大位移发生位置与数值模拟结果一致,验证了数值模拟的准确性.监测数据显示坡体在施工期间与竣工后的位移变形较小,也说明了采用埋入式双排桩对该滑坡进行支护具有较好效果.

5)对边坡工程进行治理或加固分析不能仅从稳定安全系数这单一方面考虑,要从多方面对其进行综合考虑分析.

参考文献:

- [1] 阿比尔的,郑颖人,赖杰,等.牌坊坝滑坡双排桩+锚索支护性能研究[J].地下空间与工程学报,2016,12(4):1033-1038.
- [2] NAREJO D. Finite element analysis experiments on landfill cover drainage with geosynthetic drainage layer[J]. Geotextiles and geomembranes, 2013, 38: 68-72.
- [3] KIM Y, LEE S, JEONG S. The effect of pressure-grouted soil nails on the stability of weathered soil slopes[J]. Computers and geotechnics, 2013, 49: 253-263.
- [4] 谭韬,李明,朱平,等.一种复杂工况下的桩锚扶壁式复合挡墙的设计及数值分析[J].南华大学学报(自然科学版),2017,31(2):102-106.
- [5] HUANG M S, JIA C Q. Strength reduction FEM in stability analysis of soil slopes subjected to transient unsaturated seepage[J]. Computers and geotechnics, 2008, 36(1/2): 93-101.
- [6] ERING P, BABU G L S. Probabilistic back analysis of rainfall induced landslide-A case study of Malin landslide, India[J]. Engineering geology, 2016, 208: 154-164.
- [7] XIAO J H, GONG W P, MARTIN II J R, et al. Probabilistic seismic stability analysis of slope at a given site in a specified exposure time [J]. Engineering geology, 2016, 212: 53-62.
- [8] 陈荣,杨仕教,李锐.高填土边坡中双排桩扶壁式挡墙设计方法研究[J].南华大学学报(自然科学版),2016,30(2):117-122.
- [9] 林鹏,王艳峰,范志雄,等.双排桩支护结构在软土基坑工程中的应用分析[J].岩土工程学报,2010,32(增刊2):331-334.
- [10] 杜秀忠,杨光华,孙昌利,等.双排桩支护在某水利基坑中的应用[J].岩土工程学报,2012,34(增刊1):490-494.
- [11] 范秋雁,许胜才,崔峰.一类双排桩支护结构内力计算[J].岩石力学与工程学报,2012,31(增刊1):3152-3158.
- [12] 王星华,谢李钊,章敏.深基坑开挖中双排桩支护的数值模拟及性状[J].中南大学学报(自然科学版),2014,45(2):596-602.
- [13] 刘泉声,付建军.考虑桩土效应的双排桩模型及参数研究[J].岩土力学,2011,32(2):481-486;494.
- [14] 孙勇.滑坡面下双排抗滑结构的计算方法研究[J].岩土力学,2009,30(10):2971-2977;2984.

(责任编辑:扶文静)