

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2023.04.013

微型桩技术在堆积层滑坡应急处置中的应用 ——以湖北英山县石鼓寺滑坡为例

毛 帅^{1,2}, 邹 浩^{1,3*}, 穆景超¹, 王 超¹, 陈慧娟¹, 胡 聪¹

MAO Shuai^{1,2}, ZOU Hao^{1,3*}, MU Jing-Chao¹, WANG Chao¹, CHEN Hui-Juan¹, HU Cong¹

1. 湖北省地质局第三地质大队, 湖北 黄冈 438000; 2. 鄂东北区域性地质灾害防治研究中心, 湖北 黄冈 438000;

3. 资源与生态环境地质湖北省重点实验室(湖北省地质局), 湖北 武汉 430034

1. The Third Geological Brigade of Hubei Geological Bureau, Huanggang 438000, Hubei, China; 2. Northeast Hubei Regional Geological Disaster Prevention and Control Research Center, Huanggang 438000, Hubei, China; 3. Hubei Key Laboratory of Resources and Eco-environment Geology (Hubei Geological Bureau), Wuhan 430034, Hubei, China

摘要: 滑坡在湖北黄冈地区每年新增地质灾害的数量中占比达80%, 其中堆积层滑坡是主要类型。堆积层滑坡分布广泛、发生频率高、持续危害性大等特点给该地区地质灾害防治工作带来巨大挑战。微型桩技术具有工期短、见效快、占地少等优点。结合近年来微型桩在各地滑坡应急处置中的成功实践, 本文在对英山县石鼓寺滑坡应急处置难点进行分析后, 确定了采用微型桩先行支护的处置方案。滑坡数值模拟与位移监测数据证实了微型桩在黄冈地区堆积层滑坡应急处置中是可行的。该研究对黄冈地区应用微型桩技术处置小型土质堆积层滑坡具有很好的借鉴意义。

关键词: 堆积层滑坡; 微型桩; 应急处置; 黄冈地区

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2023)04-0724-09

Mao S, Zou H, Mu J C, Wang C, Chen H J, and Hu C. 2023. Application of Micropile Technology in Emergency Response of Accumulation Layer Landslides: Taking the Shigushi Landslide in Yingshan County, Hubei Province as an Example. *South China Geology*, 39(4): 724–732.

Abstract: Landslides account for 80% of annual new geological disasters in Huanggang area of Hubei province, the main type of which is accumulated layer landslide. It brings great challenges to the prevention and control of geologic hazards in this area as its characteristics as wide distribution, high outbreak frequency of occurrence, and persistent hazards. Micropile technology has the advantages of short construction period, quick effect, and less land occupation. Combining with the successful practice of micropiles in the emergency disposal of landslides around the world in recent years, this paper determines the disposal plan of using micropiles as the first support after analyzing the difficulties in the emergency disposal of the landslide of Shigushi in Yingshan County. The numerical simulation of landslide and displacement monitoring data confirm that the micropile is feasible in the emergency disposal of accumulated layer landslide in Huanggang area. This study is a good reference for the application of micropile technology in disposal of small soil accumulated

收稿日期: 2023-4-20; 修回日期: 2023-7-31

基金项目: 湖北省自然科学基金地质创新发展联合基金项目(2023AFD221)

第一作者: 毛帅(1990—), 男, 工程师, 从事地质灾害防治和矿山地质环境修复治理工作, E-mail: 1669632257@qq.com

通信作者: 邹浩(1983—), 男, 高级工程师, 从事岩土体稳定性评价与地质灾害防治工作, E-mail: 258462846@qq.com

layer landslides in the Huanggang area.

Key words: debris landslide; micropile; emergency response; the Huanggang area

滑坡是黄冈地区主要地质灾害类型,每年汛期新发生的地质灾害中有80%是滑坡(邹浩等,2017)。滑坡发生后如不进行妥善的应急处置,往往会进一步发育,造成更大的危害,同时增加后期的治理成本。当前对滑坡进行应急处置的常用手段主要有削方减载、挡土墙、格构工程、挂网喷砼等,此类工程技术手段具有对施工场地要求高、施工工期长、造价高、材料用量大且倒运麻烦等问题(刘卫民等,2007;刘凯等,2008)。相比之下,近年来受到人们广泛关注的微型桩技术具有灵活便捷、耗费时间短、对环境影响小、治理效果好等显著优势。

微型抗滑桩(群)由意大利学者Lizzi于20世纪50年代提出,随着钻探技术的发展,被广泛应用于边坡的应急处置工程(Lizzi, 1971; Zienkiewicz et al., 1975; Bruce et al., 1995; 孙书伟, 2015; 裴振伟等, 2021)。负正利等(2019)通过微型桩群在高位滑坡应急治理中的实例分析,认为微型桩群治理高位滑坡可达到快速稳固滑坡的目的,其技术可行、施工便捷、支挡效果明显。众多研究者通过对微型桩在滑坡应急处置中应用实例分析,论证了微型桩在工程抢险中工期短、工艺简单等优点(蒋权翔等, 2016; 鲁志强和帅品南, 2021)。在微型桩排列组合研究方面,牛文庆(2016)通过模型试验研究了“人”字形、平行体系两种微型桩组合体系下的土压力及桩身内力情况,得出了“人”字形体系微型桩组合整体性能优于平行体系微型桩组合的结论。大量研究者从微型桩选取位置、桩长、桩截面、桩间距四个方面进行了论述,提出了具体的方法理论(程林林和龙娇, 2018; 郭爱国等, 2019)。张少卫和杨帆(2017)认为在合理的桩间距、排间距和锚固深度的情况下,当滑体的含水率在10%左右时3排桩的加固效果比较好。王孝哲和刘林林(2020)、刘凡和刘志伟(2021)认为倾斜微型桩群加固堆积层边坡较垂直微型桩支护效果更为明显,且倾角为60°时效果最佳,最优支护方案倾斜微型桩群与桩前土体协同变形。一些学者研究了微型桩受力变形特性和滑坡推

力传递规律,结果表明双排微型桩承受的滑坡推力主要集中在滑面以上1/3桩身范围内,桩间距为桩直径的5倍时,桩群承受的滑坡推力最大(胡时友等, 2018; 黄勇军等, 2021; 马鹏杰等, 2023)。陈光平(2021)对比分析了均质土坡与土岩二元结构边坡微型桩群在不同峰值加速度工况下的动力特性。微型桩在膨胀土滑坡治理中应用时,一些学者给出了便于设计加固方案时采用的参照系数及其取值范围(韦晨等, 2019)。刘兵民和孙慧峰(2017)阐述了微型桩复合地基受力特点,特别强调了桩间土侧限和桩土共同作用的重要性。在微型桩力学计算方法上面,牛岩和张良发(2022)将多排桩等效为一排桩进行力学计算,化繁为简,提高了计算效率和精度。

微型桩种类繁多,常见为独立型、框架型、顶板型及空间网状型。因单桩抗弯能力有限,因此在滑坡治理中通常采用梅花联排的方式布置;微型桩桩顶一般设置连系梁,将微型桩横向纵向呈网状连接起来,采用混凝土进行整体浇筑,使得整体抗弯能力增强,且可与土体形成整体进行抗滑,抗弯效果进一步提升。微型抗滑桩(群)具有形式多样、施工方便、扰动小、作业面小、机械化程度高、工期短、见效快、成本低且可有效揭露地质体等优点,有助于准确判断滑动面位置,并且微型桩应用灵活,可以和挡土墙、格构锚固等工程组合使用,发挥综合抗滑作用。微型抗滑桩适用于各种类型的中小型边(滑)坡的应急处置,尤其适用于松散堆积型土质滑坡或岩石比较破碎的岩质滑坡。需要注意的是,微型抗滑桩(群)也有局限性,由于需钻孔灌注,因此不适用于岩质坚硬的岩质滑坡或孤石较多不易钻进的岩土混合滑坡(周德培等, 2009; 邹浩等, 2021)。同时因桩长细比较大,截面较小,抗剪抗弯能力有限,微型抗滑桩(群)不可单独应用于超深层、下滑力大的大型和巨型滑坡治理。

本文以英山县石鼓寺滑坡应急处置方案为例,阐述微型桩技术在滑坡应急处置中的应用和主要技术方法,这对微型桩技术在黄冈地区的小型土质滑坡应急处置中的推广应用具有示范借鉴意义。

1 地理与地质背景

石鼓寺滑坡位于英山县吴家山林场石鼓寺后山,距英山县城约 50 km(图 1)。滑坡区属长江中下游北亚热带湿润季风性气候,年平均降水量为 1462 mm,日最高降雨量 220 mm。滑坡区位于构造剥蚀中山-低山区,海拔高程一般在 500~1729 m,地形切割深度 200~400 m,坡度多在 25°~45°。区内山顶多呈微凸状,河谷、冲沟较为发育,植被茂密。

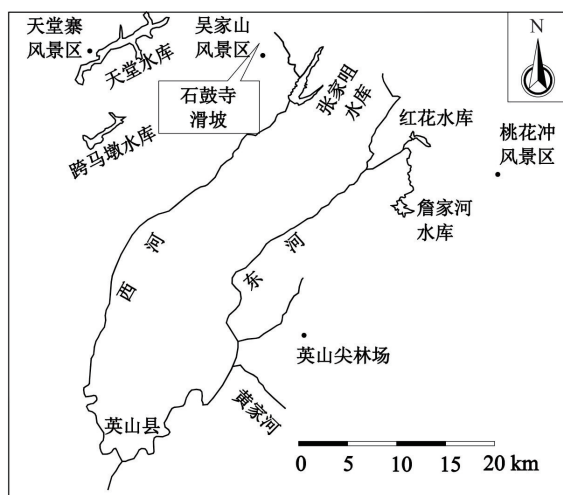


图1 英山县石鼓寺滑坡位置示意图

Fig. 1 The location of Shigushi landslide in Yingshan County

该区域发育古生界佛岭寨单元(PzF)、第四系崩积层和残坡积层(Q_4^{col+dl})。古生界佛岭寨单元露头主要分布于坡顶,岩性为片麻状黑云二长花岗岩,岩石风化面为浅灰色,新鲜面为灰色,粒状变晶结构,弱片麻状构造。第四系崩积层和残坡积层广泛分布于斜坡表层,主要为粘性土夹碎石块,杂色,松散,主要物质来源为强-全风化黑云二长花岗岩。

滑坡区内岩土体按工程地质岩组划分为第四系松散土体、坚硬-较坚硬花岗岩两大工程地质岩组。第四系松散土体岩组主要分布于坡体表层,由第四系冲积、冲洪积、坡残积粉质黏土、粉质黏土夹碎石、碎石夹黏土、黏土、砂砾卵石、砂等岩土组成,岩土体粒度不均,结构松散,易饱水软化。坚硬-较坚硬花岗岩岩组分布于坡顶,主要为片麻状黑云二

长花岗岩,坚硬、性脆,抗风化能力较强,力学强度高,干抗压强度 87.72~120.82 MPa,以刚脆性变形为主。滑坡区孔隙水主要有松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两类。松散岩类孔隙水主要分布于冲沟和坡表,地下水位埋深 2~3 m,水位埋深随季节变化。基岩裂隙水赋存于黑云二长花岗岩裂隙中,该含水岩组富水性差,水量极小。

区内人类工程活动较为强烈,主要为建房切坡、修路切坡、旅游项目开发等,改变了斜坡结构,对地质环境影响较大。

2 滑坡基本特征

滑坡平面上呈圈椅状,主滑方向 165°,与坡向基本一致(图 2)。剖面形态呈阶梯状,前缓后陡,整体坡度 40°。滑坡左翼以山脊为界,右侧以冲沟为界,剪出口位于石鼓寺后部受损挡墙的中部,后缘以滑壁为界。滑坡具有明显的牵引式特征,滑坡首先从前缘薄弱部位剪出,形成初级滑坡,进而使后缘及周围斜坡失去支撑发生变形滑动,滑坡的范围和规模进一步扩大。

滑坡前缘高程约 838 m,后缘高程约 870 m,高差约 32 m;滑坡纵向长 55 m,宽 45 m,面积 2475 m²,平均厚度 7.5 m,体积 18562.5 m³,属于小型土质牵引式滑坡。滑体主要为第四系崩积层和残坡积(Q_4^{col+dl})碎块石土,土石比 9:1~8:2,松散,硬塑。碎块石成分主要为黑云二长花岗岩,碎块石直径 2~50 cm,最大达 2 m,呈棱角状。滑带发育于第四系残坡积层碎石土层中错动带,滑面剖面上呈弧形,滑床为第四系残坡积层碎石土。

滑坡主要变形特征为:滑坡后缘下错形成滑坡后壁高度近 2~3 m,坡度约 50°~60°,滑坡后缘多处块石崩积物局部悬空,随时有崩落的可能。坡体中后部可见多棵倾斜的“马刀树”。滑坡两侧出现剪切裂缝,裂缝宽 0.2~0.5 m,深 0.5~1 m,走向 140°~155°,造成坡体上的截水沟被剪断,错断距离 0.5~0.8 m。滑坡前缘干砌块石挡土墙发生明显鼓胀变形,变形部位相对地面高 1.9 m,该部位挡土墙向外鼓胀变形约 0.8 m,造成墙前房屋出现裂缝。滑坡发生后,设置在滑坡中部、前缘的两个监测点(1#、2#)

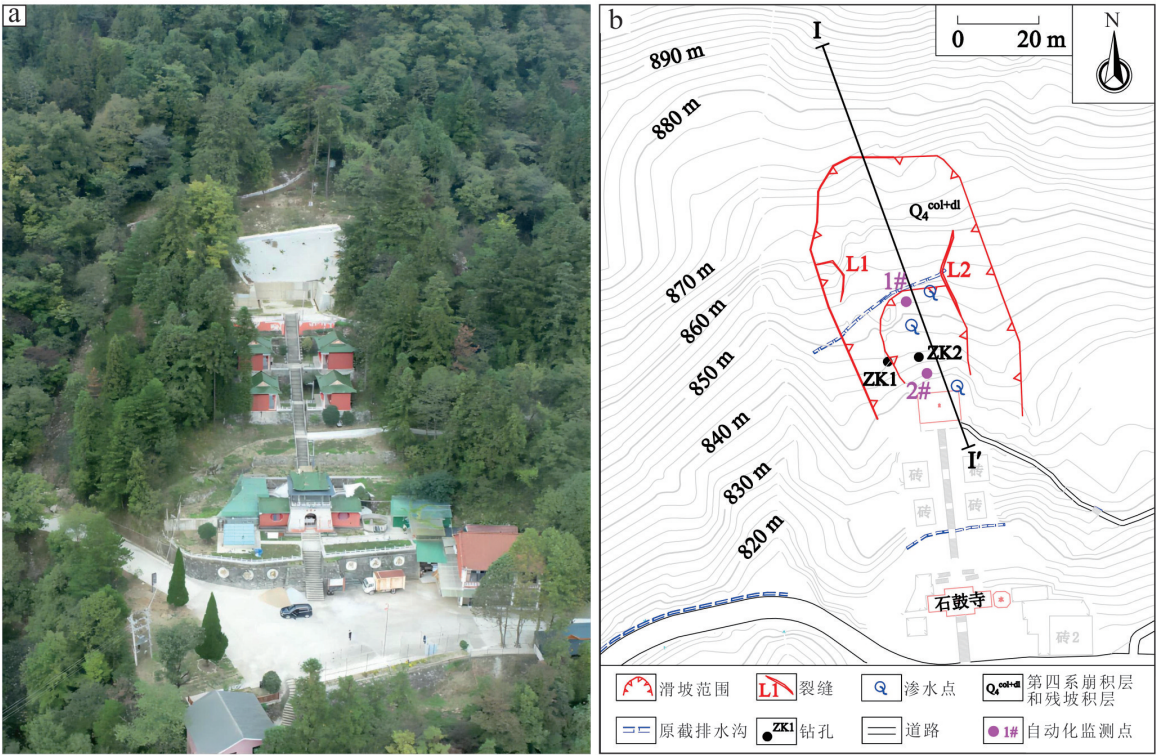


图 2 石鼓寺滑坡照片(a)及工程地质平面图(b)
Fig. 2 Photo(a) and engineering geological plan(b) of Shigushi landslide

显示(图 3),2020 年 7 月 18 日累计位移量分别为 165 mm、172 mm,且单日位移速率呈明显增大趋势。

3 滑坡稳定性分析

稳定性计算模型主要根据滑坡 I-I' 剖面(图 4),结合地质条件和滑坡变形破坏特征确定滑坡稳定性的计算模型(图 5)。

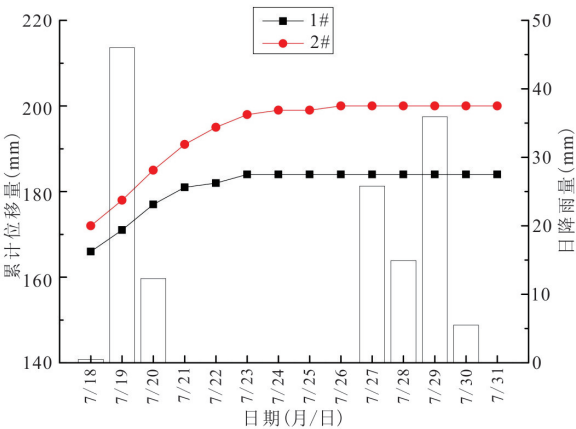


图 3 石鼓寺滑坡累计位移量和日降雨量图
Fig. 3 Accumulated displacement and daily rainfall map of Shigushi landslide

1#为设置在滑坡中部的监测点;2#为设置在滑坡前缘的监测点

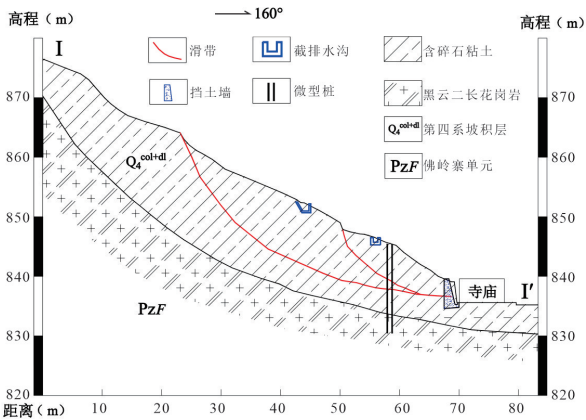


图 4 石鼓寺滑坡应急处置工程剖面布置图
Fig. 3 Section layout of Shigushi landslide emergency treatment works

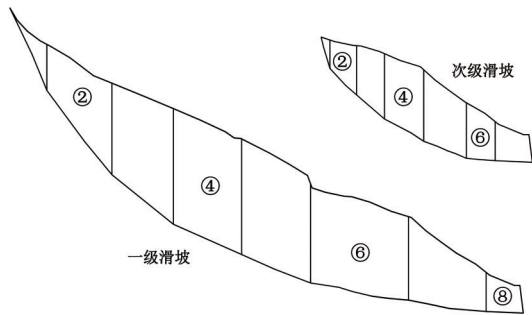


图5 石鼓寺滑坡不平衡推力计算条分图
Fig. 5 Strip diagram for calculation of unbalanced thrust of Shigushi landslide

根据滑坡的地质背景和形成机制,稳定性计算分以下两种工况:

工况 I :天然工况,考虑滑坡体在现状条件下不受外界因素的影响。

工况 II :暴雨工况,考虑在滑坡区遭遇暴雨时,地表排水工程失效造成降雨下渗使潜在滑坡体重

量增加。

根据《滑坡防治工程设计规范》(GB/T 38509-2020)(国家市场监督管理总局和国家标准化管理委员会,2020)确认该防治工程为 III 级,工况 I 安全系数取 1.2,工况 II 安全系数取 1.15。本次滑带土的物理和力学指标依据滑坡勘查测试成果、当地经验和参数反算分析综合确定。天然状态(工况 I):重度 $\gamma=19.2\text{ kN/m}^3$,粘聚力 $c=17.5\text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi=15.5^\circ$;饱和状态(工况 II):重度 $\gamma=22.0\text{ kN/m}^3$,粘聚力 $c=15.2\text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi=14.3^\circ$ 。本次稳定性计算公式采用不平衡推力传递法,使用理正软件计算。经计算,次级滑坡天然工况下,稳定性系数为 1.053,处于基本稳定状态;暴雨工况下,稳定性系数为 0.986,处于不稳定状态。一级滑坡天然工况下,稳定性系数为 1.119,处于基本稳定状态;暴雨工况下,稳定性系数为 0.995,处于不稳定状态(表 1)。

表 1 石鼓寺滑坡稳定性计算结果
Table 1 Stability calculation results of Shigushi landslide

类别	工况	粘聚力(kPa)	内摩擦角($^\circ$)	稳定性系数	稳定性评价
次级滑坡	天然工况	17.5	15.5	1.053	基本稳定
	暴雨工况	15.2	14.3	0.986	不稳定
一级滑坡	天然工况	17.5	15.5	1.119	基本稳定
	暴雨工况	15.2	14.3	0.995	不稳定

综合滑坡现场调查、工程勘察、稳定性计算以及滑坡监测等,石鼓寺滑坡处于不稳定状态,在暴雨等不利条件下,将加速下滑。该滑坡为牵引式小规模土质滑坡,且位于半山腰,具有较大的势能,一旦滑动将形成高速远程滑坡,对坡下石鼓寺造成严重威胁。且滑坡表层分布大量的块石崩积物,一旦失稳滚落,将直接威胁坡下 500 m 范围的人民群众生命财产安全。综上,对滑坡须采取应急处置工程,防止其进一步变形失稳。

4 微型桩应用分析

4.1 应急处置难点

(1)滑坡稳定性差,时间紧急。滑坡当时处于不

稳定状态,根据监测显示该滑坡每天均在发生位移(图 3),随时可能发生失稳。应急处置工程应尽早实施,且工期不宜过长,应急工程应以最短的时间发挥实效,提高滑坡的稳定性;同时应急工程应尽可能降低对滑坡的扰动,这要求工程设备应轻便,工程措施不宜对坡体岩土进行挖填等。

(2)空间狭窄,运输困难。滑坡区仅能通过石鼓寺景区内部石阶道路通往山下公路,运输材料设备等只能依靠人工转运,运输条件比较差;大型机械设备无法进入滑坡区;施工空间狭窄,石鼓寺古庙不能拆移;原挡土墙不能拆除,否则滑坡失去支挡将失稳滑动。

4.2 总体思路

结合该滑坡的稳定性分析结果和应急处置的

难点分析,应急处置工程应具备轻便灵活、机械化程度高、工艺简单、安全可靠等特点。应急处置分三步:第一步,立即采取微型桩工程稳固滑坡,阻止滑坡进一步下滑;第二步,拆除原受损挡土墙,在原址新建钢混结构挡土墙;第三步,清除坡体危岩体,完善滑坡截排水沟,恢复坡体植被和生态环境。

4.3 具体方案设计

4.3.1 滑坡推力计算

采用稳定性分析计算的滑坡模型,岩土体计算参数选用暴雨饱和状态(工况Ⅱ)参数值: $\gamma=22.0\text{ kN/m}^3$, $c=15.2\text{ kPa}$, $\varphi=14.3^\circ$,计算方法采用传递系数法,计算得出主滑方向上坡坡剩余下滑力为 224.95 kN/m 。

4.3.2 布设位置选取

微型桩一般布设在滑坡的中前部的阻滑段,以最大化发挥阻滑段的作用,减少工程投入,降低工程成本;还需要考虑地层性质和地形地貌,结合地质勘查资料,应选岩性便于钻进,孤石较少的部位,地形上应尽可能平缓,减少施工便道投入;选取滑动面倾角和滑体厚度小的部位。综上,结合滑坡推力计算结果和石鼓寺滑坡地形地貌情况,选取在滑坡中前段,前缘坡脚平距 10 m 的平台上布设两排微型桩,共计 42 根(图 4、图 6)。

4.3.3 桩截面的选取

根据传递系数法计算得到滑坡的剩余推力:

$$E_{11} = 224.95 \text{ kN/m}$$

根据《抗滑桩治理工程设计规范(试行)》(T/CAGHP 003-2018)(中国地质灾害防治工程行业协会,2018),微型桩间距一般取0.5~2.0 m,本次桩的间距按1.0 m考虑,桩的排数为2排,呈“品”字形布置。钢筋选用工字钢,取钢筋的抗拉强度设计值 $f_s=335\text{ N/mm}^2$ 。因为是永久工程,安全系数 $K_s=1.80$ 。

计算得出每根桩应该配置的钢筋平均截面面积为:

$$A_s = \frac{K_s T_n}{n f_s} = \frac{1.8 \times 224.95 \times 10^3}{2 \times 335} = 604.34 \text{ mm}^2$$

式中, K_s 为钢筋截面设计安全系数; n 为微型桩布置排数; T_n 为微型桩应承担的侧向力; f_s 为钢筋的设计强度值。

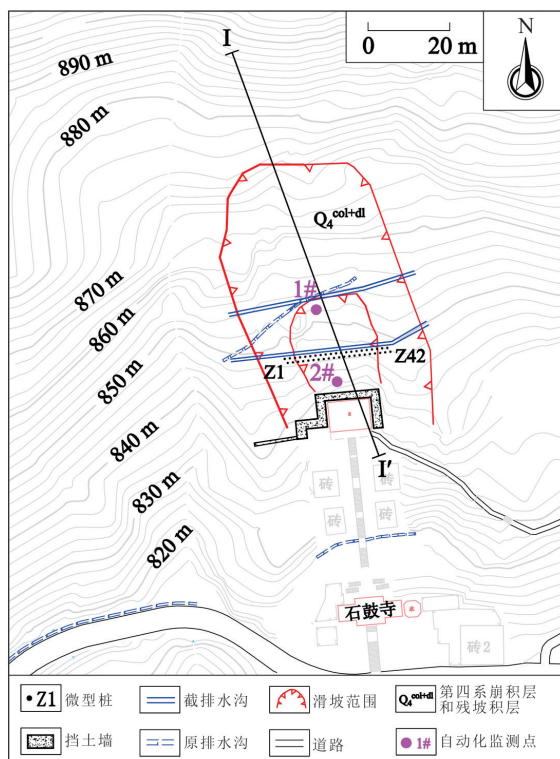


图6 石鼓寺滑坡应急处置工程平面布置图

Fig. 6 Layout plan of Shigushi landslide emergency treatment works

根据计算结果,结合微型桩设计规范和类似工程经验选用微型桩截面直径(D)为 150 mm,内置钢筋采用 I10 热轧普通工字钢,采用 M30 水泥砂浆注浆,满足设计要求(图 7)。

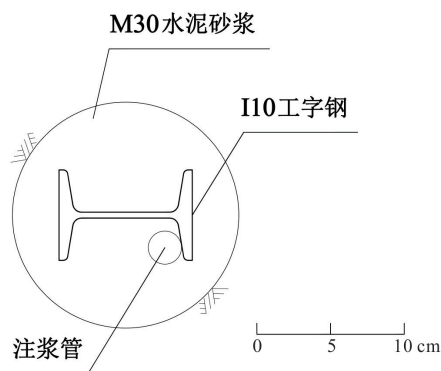


图7 微型桩断面图

Fig. 7 Section of micropile treatment works

4.3.4 微型桩长度

微型桩的受力较为复杂,在滑面处除主要承受剪力外,还有弯矩和轴向拉力,随着变形增大,当桩

身发生开裂后,钢筋所受的拉力逐渐增加,如果微型桩的桩长不足,在钢筋拉力的作用下,就可能发生类似锚杆被拔出的破坏。为了避免由此类破坏引起微型桩失效,在进行微型桩的设计计算时,必须对微型桩的抗拔力(即锚固力)进行验算。微型桩的锚固长度(L)可按下列公式计算,并取其中的较大值:

$$L = \frac{Kf_s A_s}{\pi D q_t} = \frac{1.8 \times 335 \times 1430}{3.14 \times 150 \times 0.5} = 3661.53 \text{ mm}$$
$$L = \frac{Kf_s A_s}{n\pi d \zeta q_s} = \frac{1.8 \times 335 \times 1430}{1.0 \times 3.14 \times 100 \times 1.0 \times 0.43} = 6386.39 \text{ mm}$$

式中: A_s 为钢筋截面面积, I10 工字钢截面面积为 1430 mm^2 ; K 为安全系数, 选取 1.8; q_t 为水泥结石体与岩土孔壁间的粘结强度设计值; n 为钢筋根数; d 为单根钢筋的直径; ζ 为折减系数, 取 1.0; q_s 为水泥结石体与钢筋间的粘结强度设计值。

微型桩嵌固段长度为 6.5 m, 滑体厚度 8.0 m, 微型桩露出地面 0.5 m, 以便于设置桩顶连系梁, 故单根微型桩设计总长度平均为 15.0 m(图 8)。总桩长满足规范对微型桩嵌固段长度大于 1/4 总桩长的要求。在工程实施过程中, 根据钻探工作对地质体揭露的变化情况, 做好地质编录。当滑带土埋深有较大变化时, 适当调整桩长, 以满足工程技术要求。

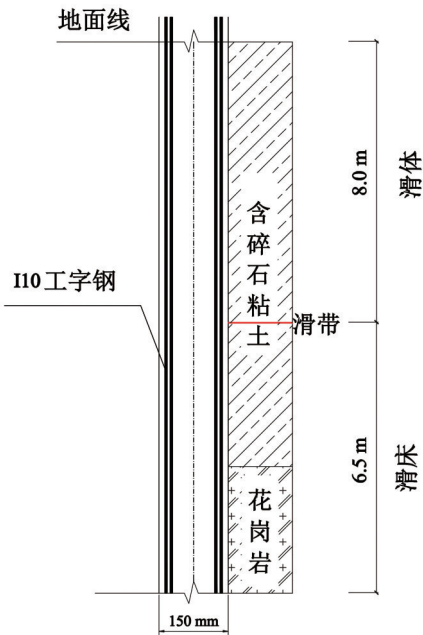


图 8 微型桩结构示意图
Fig. 8 Schematic diagram of micropile structure

4.3.5 连系梁设计

为提高微型桩的整体抗性,在微型桩顶部设置连系梁,连系梁宽 1.55 m,高 0.5 m,每排桩采用一根 I10 工字钢焊接,两排桩之间通过 I10 工字钢连接,形成稳固的三角形结构(图 9、图 10)。连系梁主体采用 C30 混凝土进行浇筑,施工效果较好。

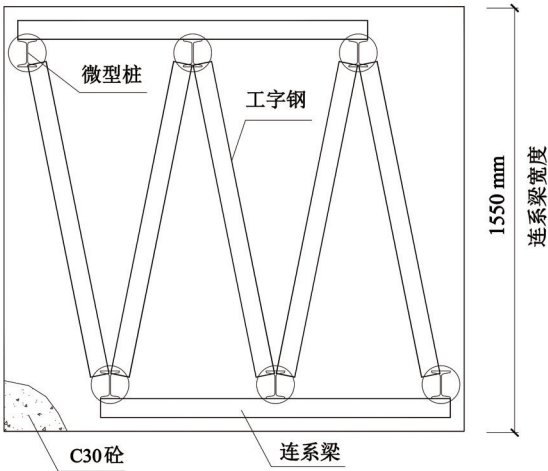


图 9 连系梁大样图
Fig. 9 Detail drawing of coupling beam

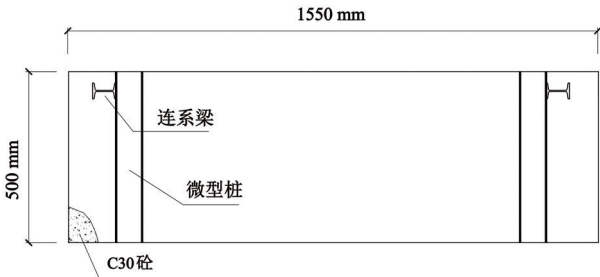


图 10 连系梁断面图
Fig. 10 Cross section of tie beam

4.3.6 数值模拟验证

为验证微型桩实施效果,在 ABAQUS 有限元软件中建立滑坡数值分析模型进行稳定性计算,得到微型桩支护前与支护后滑坡水平位移云图(图 11),可以看出微型桩支护前滑坡变形较大位置主要集中在滑体前缘,滑体水平位移(U_1)最大值为 8.1 cm(图 11a)。设置微型桩后滑坡变形较大位置集中在抗滑桩后缘,水平位移最大值减小到 1.4 cm(图 11b),而微型桩前缘滑体的水平位移不足 1 cm,表明微型桩可有效控制滑坡变形。

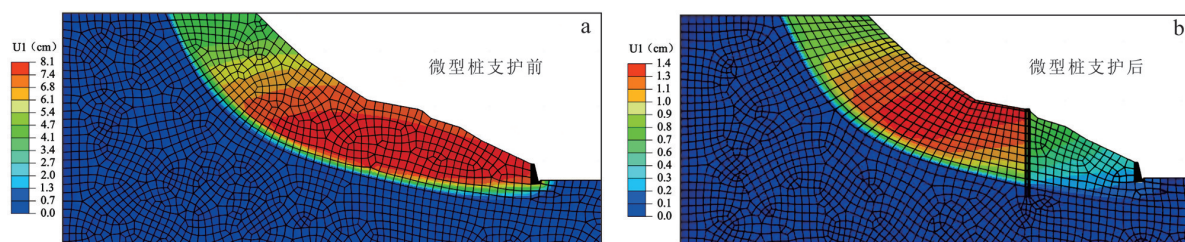


图11 微型桩支护前后滑坡水平位移云图

Fig. 11 Cloud map of horizontal displacement of Shigusi landslide before and after micropile support

4.4 应用效果分析

应急处置方案确定之后,按照应急处置方案,立即开展应急处置工作。2020年7月20日开始紧急排险工程,通过人工搬运将4台钻机等设备运达指定位置,实施微型桩工程。根据施工期间监测数据,微型桩应急排险工程启动后,滑坡位移变形速率逐步降低。2020年7月26日微型桩工程总体完工,滑坡位移变形停止(图3)。经后续长期监测,滑坡未发生新的变形,达到了应急处置的目的,工程总体效果较好。

4.5 推广应用分析

黄冈地区主要发育前寒武纪变质岩和古生界花岗岩。经过多期构造剥蚀等作用,区内山体结构破碎,岩石节理、裂隙发育,风化后易形成全-强风化残积土层,经搬运作用堆积于山脚形成坡积层。堆积层与下覆基岩理化性质差异较大,两者交界部分往往会演化为滑坡的滑动面,由此形成了具有黄冈地域特点的堆积层滑坡。

总结堆积层滑坡的成因条件和地质结构以及微型桩的技术特点可以发现,黄冈地区堆积层滑坡在宏观上具有点多面广、易发育、危害大的特点,微观上具有层厚不大,上软下硬的地质结构。微型桩桩径小,对嵌固段岩土体强度要求高,而堆积层滑坡下覆基岩强度较大,契合微型桩嵌固段的工程地质条件要求;在微型桩施工过程中,随着钻进深度加深,钻进速度会呈下降趋势,且基于微型桩长细比较大,柔性突出的特点,不宜应用于深层滑坡(滑坡体厚度>20 m)。黄冈地区堆积层滑坡均为中浅层滑坡,能够兼顾微型桩的施工效率和抗弯强度。

综上所述,微型桩技术比较契合黄冈地区堆积

层滑坡应急处置的技术要求,能够满足堆积层滑坡快速处置和安全稳定的目标,具有较好的推广应用价值。

5 结论与建议

(1)应用微型桩技术对英山县石鼓寺滑坡进行应急处置,较好发挥了微型桩技术工期短、见效快、占地少等优点,有效克服了应急处置中的空间小、时间紧等困难,应急处置工程效果良好。

(2)经过类比分析,综合考量黄冈堆积层滑坡的宏观发育特点和微观的结构特征,微型桩技术比较契合黄冈堆积层滑坡的应急处置条件和要求,其推广具有较好的社会效益、环境效益、经济效益。

(3)本文对于微型桩的工艺特点和相关参数进行了研究,但对其应用于滑坡不同部位效果、不同桩位桩体差异等研究相对不足,建议在后续的推广实践中加大研究力度,进一步总结微型桩的技术特点,提高应用的针对性和实效性。

参考文献:

- 陈光平. 2021. 微型桩群动力特性研究[J]. 西部交通科技, (5): 63-67.
- 程林林, 龙 娇. 2018. 滑坡微型桩设置方法及设计[J]. 内蒙古公路与运输, (1): 22-24.
- 郭爱国. 2019. 微型桩在滑坡治理中的应用探讨[J]. 资源信息与工程, 34(4): 138-139.
- 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2020. GB/T 38509-2020. 滑坡防治工程设计与规范[S].
- 胡时友, 蔡 强, 李超杰. 2018. 双排微型桩加固碎石土滑坡物理模型试验研究[J]. 水文地质工程地质, 45(5): 114-120.

- 黄勇军,周利金,潘世强,谭鑫,冯龙健.2021.微型桩加固多级路堑边坡稳定性分析[J].湖南交通科技,47(3):6-10,34.
- 蒋权翔,赵江龙,王虎子.2016.微型钢管桩在滑坡应急治理中的应用[J].甘肃水利水电技术,52(4):44-46.
- 刘兵民,孙慧峰.2017.微型桩基础的实践与技术探讨[J].建筑结构,47(15):102-105.
- 刘凡,刘志伟.2021.微型桩加固堆积层边坡参数敏感性耦合分析[J].山西建筑,47(15):78-80.
- 刘凯,刘小丽,苏媛媛.2008.微型抗滑桩的应用发展研究现状[J].岩土力学,28(S1):675-679.
- 刘卫民,赵冬,蔡庆娥,尉学勇.2007.微型桩挡墙在滑坡治理工程中的应用[J].岩土工程界,10(2):54-56.
- 鲁志强,帅品南.2021.微型桩技术在施工中的应用[J].技术与市场,28(9):74-75.
- 马鹏杰,芮瑞,曹先振,夏荣基,王曦,丁锐恒,孙天健.2023.微型桩加固长大缓倾裂隙土边坡模型试验[J].岩土力学,44(6):1695-1707.
- 牛文庆.2016.微型桩支挡结构地震动力特性试验研究[D].中国铁道科学研究院硕士学位论文.
- 牛岩,张良发.2022.改进的多排微型桩加固浅层滑坡的计算方法及其应用[J].土工基础,36(4):537-540.
- 裴振伟,年廷凯,吴昊,张彦君,张超锋,王瑞.2021.滑坡地质灾害应急处置技术研究进展[J].防灾减灾工程学报,41(6):1382-1394.
- 孙书伟,陈冲,王卫,朱本珍.2015.微型桩组合结构加固边坡稳定性耦合分析[J].中南大学学报(自然科学版),10(3774-3781).
- 王孝哲,刘林林.2020.倾斜微型桩群加固堆积层边坡稳定性分析[J].人民珠江,41(6):85-92.
- 韦晨,何晖,张少卫.2019.微型桩处置堆积层滑坡室内模型试验研究[J].人民长江,50(8):188-192+223.
- 贡正利.2019.微型桩群在高位滑坡应急治理中的应用分析[J].山西建筑,45(5):54-56.
- 张少卫,杨帆.2017.微型桩群整治堆积层滑坡模型试验研究[J].铁道建筑,57(11):86-89.
- 中国地质灾害防治工程行业协会.2018. T/CAGHP 003-2018 抗滑桩治理工程设计规范(试行)[S]. 武汉:中国地质大学出版社.
- 周德培,王唤龙,孙宏伟.2009.微型桩组合抗滑结构及其设计理论[J].岩石力学与工程学报,28(7):1353-1362.
- 邹浩,陈金国,何文娟,葛长山.2021.鄂东黄冈地区堆积层滑坡及接触面物理力学特性研究[J].资源环境与工程,35(2):188-195.
- 邹浩,陈金国,吴恒,王超.2017.2016年多轮强降雨影响下黄冈市地质灾害发育规律浅析[J].资源环境与工程,31(6):764-768.
- Bruce D A, DiMillio A F, Juran I. 1995. A primer on micropiles[J]. Civil Engineering Magazine, 65(12): 51-54.
- Lizzi F. 1971. Special patented systems of underpinning and more generally, subsoil strengthening by means of pali radice (root piles) with special reference to problems arising from the construction of subways in built-up area[R]. Urbana-Champaign: University of Illinois, 20-27.
- Zienkiewicz O C, Humpheson C L, Lewis R W. 1975. Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics[J]. Geotechnique, 25(4):671-689.