

青岗古滑坡体前缘开挖后局部复活特征及防治

赵海松, 向 波, 邵 江, 魏安辉, 郭 凯, 张 磊, 柳 松

(四川省公路规划勘察设计院有限公司, 成都 610041)

摘要:古滑坡体自然状况下多处于稳定状态,但前缘受开挖扰动后,易发生复活变形。四川西南部某高速公路穿越青岗古滑坡体前缘,开挖后坡体发生局部复活变形,采用地质调绘、钻探、变形监测等手段,在查明古滑坡体及其复活变形区特征及成因的基础上,对古滑坡体进行了防治及效果监测。结果表明,古滑坡体前缘滑体土以含砾黏土、角砾土为主,其力学参数低,是局部复活的地质条件,前缘开挖临空及降雨是局部复活的诱因;在考虑施工快速可靠前提下,采用桩板墙+反压方案对滑坡体进行了及时、有效治理,避免了古滑坡体整体复活。研究成果可为后续公路等工程对古滑坡体前缘开挖扰动时提供勘察设计参考。

关键词:古滑坡;开挖;局部复活;变形特征;防治

中图分类号:P642 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)16-0263-06

我国是滑坡多发性国家,致命性滑坡多分布于黄土高原、四川盆地、云贵高原,山体滑坡常造成人员伤亡和经济损失^[1-3]。根据《四川省高速公路网规划(2019—2035 年)》和《重庆市高速公路网规划(2019—2050 年)》,川渝还将分别新建 4 100 km 和 2 111 km 的高速公路^[4]。大量的公路由盆地 toward 周边山脉修建,受规划、线型等影响,不可避免地会对古滑坡体造成扰动^[5-8]。

古滑坡体成因多样,一般多由基岩顺层失稳堆积、倾倒折断滑动堆积或其他成因堆积物滑动等形成^[9-11]。滑坡的复活变形成因主要是工程扰动^[12]、集中降雨^[13]因素诱发的。公路或其他构筑物修建对古滑坡体扰动后,常造成古滑坡体局部或整体复活,部分古滑坡体局部复活后,由于治理不及时,可能造成古滑坡体整体复活。现阶段对古滑坡的治理常采用抗滑桩、反压、锚索框架、排水隧洞等某一种或多种措施进行治理^[14-19]。

2019 年 6 月青岗古滑坡体前缘按坡比 1:2 开挖高约 15 m 临空后,在降雨下发生前缘变形复活。在对滑坡体进行地质调查、钻探、监测的基础上,查明了滑坡体及复活区特征及成因,采用了桩板墙+反压方案对古滑坡体进行了治理,通过全过程变形监测验证了治理工程的有效性。古滑坡

体前缘开挖后变形模式及治理方案,可为后续公路等工程对古滑坡体前缘开挖扰动时提供勘察设计参考。

1 古滑坡地质背景及概况

1.1 场区地质背景

场区位于四川盆地西南部,乐山市西南部,属构造剥蚀低山及侵蚀堆积地貌。场地出露及钻探揭露的地层为新生界第四系全新统滑坡堆积层、崩坡积层,第四系上更新统冲洪积层及中生界侏罗系中统沙溪庙组。其中滑坡堆积层以(含角砾)粉质黏土、角砾、碎石、整体状块石等组成,钻探揭示该层最大厚度为 18.7 m。

场区地质构造如图 1 所示,岩体结构受地质构造影响强烈,岩体结构面结合差。岩层产优势产状 $318^{\circ}\angle 29.5^{\circ}$,层面结合一般~差,浅表部位夹植物根系。受构造作用影响主要发育两组节理面:J1: $55^{\circ}\sim 77^{\circ}\angle 76^{\circ}\sim 85^{\circ}$,为主动结构面,其延伸、切深均较大,局部倒转,地表可见延伸 15~40 m,切深为 3~10 m,面较平,间距为 0.5~2 m,结合一般~差,裂面微张~张开,浅表可见张开宽 2~5 mm,充填黏土;J2: $106^{\circ}\sim 137^{\circ}\angle 65^{\circ}\sim 70^{\circ}$,地表可见延伸 2~5 m,切深为 3~8 m,间距为 0.3~2 m,面较平,结合差,微张~张开,裂隙中充填黏土。

收稿日期:2023-05-15

基金项目:四川省交通运输科技项目(2021-A-02;2021-A-07);四川省公路规划勘察设计院有限公司自立项目(2022-YL-02)。

作者简介:赵海松(1989—),男,云南宣威人,四川省公路规划勘察设计院有限公司,工程师,研究方向为地质灾害成灾机制及治理;通信作者向波(1973—),男,四川荣县人,四川省公路规划勘察设计院有限公司,正高级工程师,研究方向为地质灾害成灾机制及治理。

场区地下水主要为松散层孔隙水及基岩裂隙水。滑坡体中上部以整体状块石为主,孔隙较发育,渗透性好,地表水入渗后,快速沿古滑带隔水层附近运移;下部以含角砾粉质黏土、角砾、碎石为主,渗透性相对较差,地表水入渗后,沿坡体内相对角砾层及古滑带隔水层运移,易导致滑带及角砾层力学参数降低。由于场区位于斜坡上,滑带上陡下缓,地下水排泄较迅速,贮存条件较差,松散层孔隙水地下水整体不发育,但下部大于上部。

基岩孔隙裂隙水赋存于砂岩孔隙、砂泥岩裂隙、层间软弱面中,主要接受大气降水补给,有的地段还可获得松散类孔隙水补给,沿砂岩孔隙、砂泥岩裂隙、层面软弱面向坡脚方向运移,在地形低洼处以泉的形式排泄,大蓝厂河为该层地下水排泄通道。场区岩层倾向中等,地下水富水性受岩性控制,主要含水层为砂岩,粉砂质泥岩为相对隔水层,无断层等导水构造,总体而言富水性不强。

可见,场区斜坡基岩顺层,层间结合差,临空后易发生基岩顺层滑动。古滑坡体中上部和下部物质成分差异大,松散层孔隙水一般沿古滑带及下部土体相对隔水层运移。

1.2 古滑坡体特征

青岗古滑坡体自然坡向约 323°,整体坡度为 10°~25°,中上部相对较陡为 15°~25°,下部相对较缓为 10~15°。堆积体前后缘高程分别为 535~592 m,相对高差 57 m,平面上呈不规则长舌状,堆积体所处地段地形凸起,凸起部分宽为 30~80 m,两侧为季节性冲沟,冲沟深为 5~10 m,宽为 10~15 m,前缘路基范围陡坎处基岩出露。堆积体上被垦为旱地,种植茶树等。

根据地面调查结合钻探成果,古滑坡体长约为 200 m,宽为 50~90 m,平面面积约为 14 200 m²,厚为 7.5~18.7 m,推测平均厚约为 13 m,体积约为 18.5 万 m³。

据现场开挖、钻孔及调绘,绘得古滑坡工程地质剖面如图 2 所示。可见,滑体主要为含砾粉质黏土、角砾、碎石、整体状块石组成,含砾粉质黏土呈可塑状,分布于滑坡体坡表;角砾呈稍密状,分布于滑坡体中下部岩土界面附近以及滑坡体下部;碎石呈稍密状,零星分布于滑坡体下部;整体状块石主要分布于滑坡体中上部区域,堆积体下部零星分布,石质成分主要为粉砂质泥岩,其中中上部整体

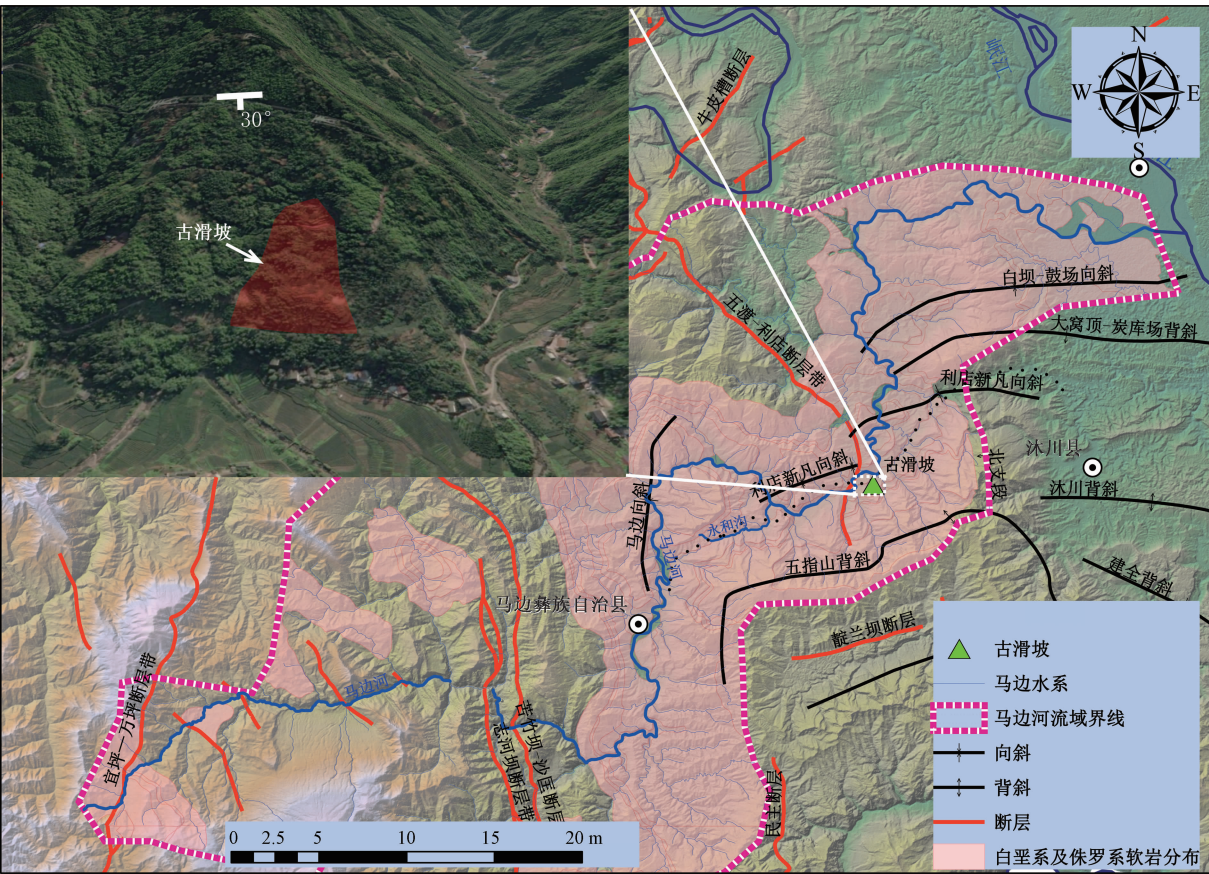


图 1 场区地貌及地质构造

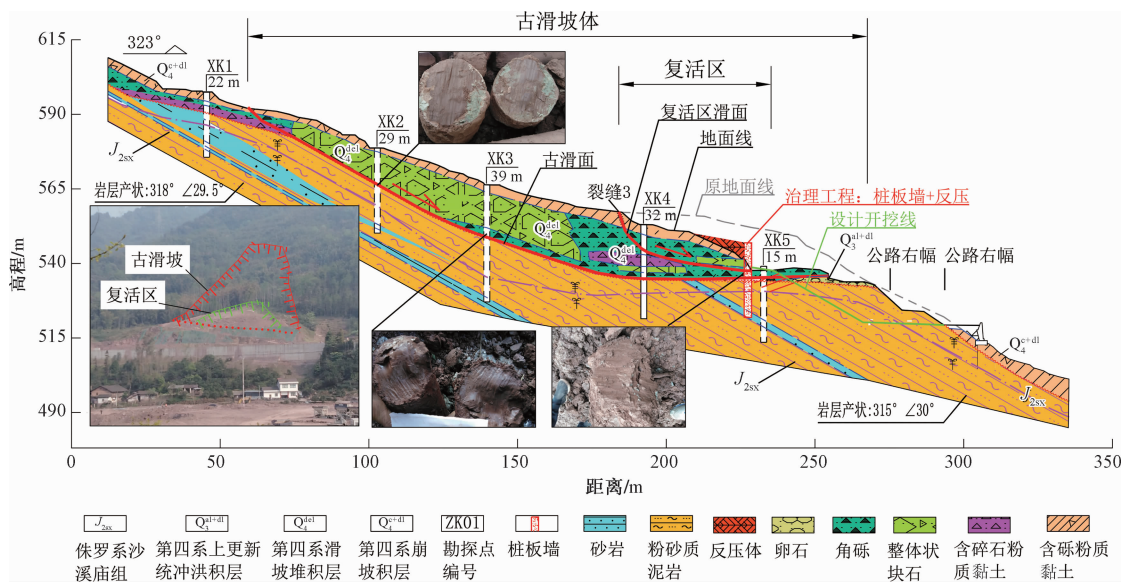


图2 古滑坡工程地质剖面

状块石可见岩层产状约 $320^{\circ}\angle 30^{\circ}$ 。

滑带主要分布于岩土界面附近,厚为 15~60 cm,以含砾黏土为主,呈可塑状,含 25%~40% 次棱~亚圆状强风化粉砂质泥岩、砂岩角砾。开挖及钻孔揭示该层内光滑面清晰可见(图 2)。

滑床主要为侏罗系沙溪庙组砂泥岩互层,薄~厚层状,层面倾角为 $28^{\circ}\sim 33^{\circ}$,层间结合一般~差,特别是砂岩与泥岩接触部位,层间结合差。

1.3 古滑坡成因

依据场区工程地质条件,从坡体的地形地貌、物质组成入手,结合临近地区滑坡工程类比等综合分析古滑坡形成演化过程,具体如下:

1)从斜坡地形地貌看,纵向上坡体中后部发育多处缓坡平台,横向上坡体中间凸出,两侧略低,如图 3 所示。

2)从坡体物质组成看,钻孔揭露岩土界面附近明显发育一层滑带土,光滑面明显可见;滑体中上部整体状块石可见岩层产状约 $320^{\circ}\angle 30^{\circ}$,为明显顺层堆积未解体的基岩;前缘堆积于灰黄色第四系上更新统卵石层上,堆积长度约为 40 m。

3)从地质构造特征看,场区基岩顺层,堆积体中上部岩土界线顺层面分布,可见其顺层失稳堆积可能性大。

综上判定,场区斜坡为古滑坡体,因岩体层间结合差,且受河流下切等影响,前缘逐渐临空。在外引力作用下,发生了基岩顺层滑动,前缘堆积于河流阶地卵石层上,中上部岩土界线顺层面分布。

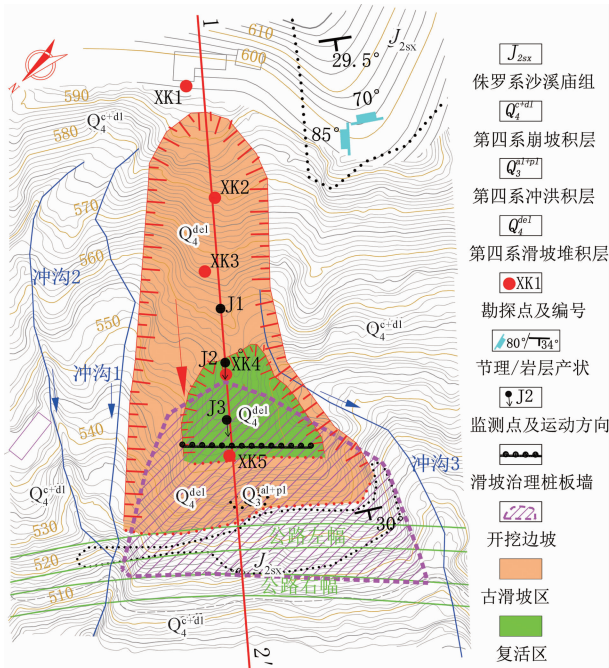


图3 古滑坡平面

2 复活特征及成因

考虑某公路穿越青岗古滑坡下部,对滑坡体采用 1:2.5 放坡+挡墙+锚杆框架梁进行支挡。边坡开挖挖高约 15 m,按约 1:2 放坡后,滑坡体下部 2019 年 6 月 23 日发生第一次复活变形,变形量为 0.2~0.8 m(图 4(a)),后采用反压对其进行应急处治;2019 年 11 月至 2023 年 4 月开挖后,坡体发生蠕滑变形,变形量为 0.2~0.3 m。复活区后缘裂缝如图 4(b)和图 4(c)所示。



图 4 复活区后缘裂缝

古滑坡下部复活区边界特征明显,裂缝已封闭成环,纵向长约为 50 m,宽约为 60 m,平面面积约为 3 000 m²,钻孔及探井揭示厚为 3.9~8.9 m,推测平均厚约为 7 m,体积约为 2.1 万 m³,主滑方向与古滑坡一致,约 323°。

复活区土体以含角砾粉质黏土、角砾、碎石为主,其中角砾层为坡体内部的软弱夹层,力学参数低。降雨时地表水入渗后,沿古滑坡下部角砾层内相对隔水层运移,导致角砾层力学参数进一步降低,加之开挖临空下,诱发了古滑坡体前缘沿角砾层内部发生复活变形。

3 古滑坡局部复活后治理情况

3.1 滑坡体稳定性评价

3.1.1 定性评价及潜在变形分析

开挖后古滑坡体整体未出现开裂、变形情况,据此堆积体整体处于基本稳定~稳定状态。复活区出现变形滑移现象,处于欠稳定~基本稳定状态。

古滑坡体下部还需进行切坡开挖,届时复活区将进一步变形,甚至发生滑动失稳,此时存在牵引整个古滑坡体发生变形失稳风险,将严重威胁公路安全。此外,古滑坡体前缘开挖临空,在降雨入渗饱水软化滑带后,存在古滑坡体变形失稳风险。因此,需及时对古滑坡及复活区进行支挡,且滑坡推力应取古滑坡整体或复活区下滑力大值。

3.1.2 定量计算及支挡下滑力选择

1)滑带土参数选择。根据试验及反演情况,滑带参数综合取值如表 1 所示。

2)推力计算及选择。根据《公路滑坡防治设计规范》^[20]对古滑坡整体及复活区进行滑坡推力计算。计算工况为正常工况,公路投入运营后经常发生或持续时间长的工况,稳定安全系数取 1.20;非

正常工况 I,公路滑坡处于暴雨或连续降雨状态下的工况,稳定安全系数取 1.15。

由于滑面上陡下缓,下部为抗滑段,拟于滑坡前缘设置支挡。根据表 2 计算结果,支挡位置滑坡推力取大值,即古滑坡整体非正常工况 I 下滑力 833.62 kN/m,下滑力角度为 1.3°。

表 1 滑带土参数

名称	天然工况		暴雨工况	
	c/kPa	$\varphi/(\text{°})$	c/kPa	$\varphi/(\text{°})$
复活区滑带土	6.6	14.0	6	13.6
古滑坡滑带土	12	15.5	10.3	15

表 2 支挡位置下滑力

名称	正常工况下滑力/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)	非正常工况 I 下滑力/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)
复活区	257.22	256.35
古滑坡体	768.23	833.62

3.2 防治方案

青岗古滑坡前缘复活后,应急治理措施为前缘反压,反压体高约为 8 m,坡比约为 1:3,方量约为 3 万 m³,反压后坡体稳定(图 5)。

滑面上陡下缓,对滑坡体下部抗滑段位置设置支挡措施,根据下滑力计算成果,支挡位置处下滑力为 833.62 kN/m,下滑力角度为 1.3°。综合下滑力大小及场地施工条件,采用桩板墙+反压方案进行支挡,抗滑桩采用圆桩,直径为 2.5 m,间距为 5 m,桩长为 25 m。抗滑桩高出地面为 4~10 m,桩间进行外挂板,桩板墙后进行反压。桩板墙方案于 2020 年 4 月底开始施工,6 月底施工完成。桩板墙支挡位置平面见图 3,断面见图 2。

结合设计方案,施工快速响应,抗滑桩采用旋挖施工,加快了工程进度,暴雨季节来临前完成了工程治理,防止了古滑坡体进一步变形。

3.3 治理效果监测

青岗古滑坡下部 2019 年 6 月 23 日复活变形后,对坡体设置了 1 条监测断面,3 个监测点进行地表位移监测,监测点位置如图 3 所示。监测方式采用全站仪监测,监测频率根据降雨及施工情况,为 1~15 d/次。

根据监测成果显示(图 5),复活区外的 J1 点变形曲线收敛,无明显变形;复活区上的 J2、J3 监测点 2019 年 11 月以来受开挖影响,坡体再次发生蠕滑变形,其中 2020 年 3 月 10 日突变约 8 cm,4 月 1 日突变约 11 cm,变形方向约为 323°,至 2020 年 4 月底抗滑桩施工开始时累计变形为 0.2~0.3 m。

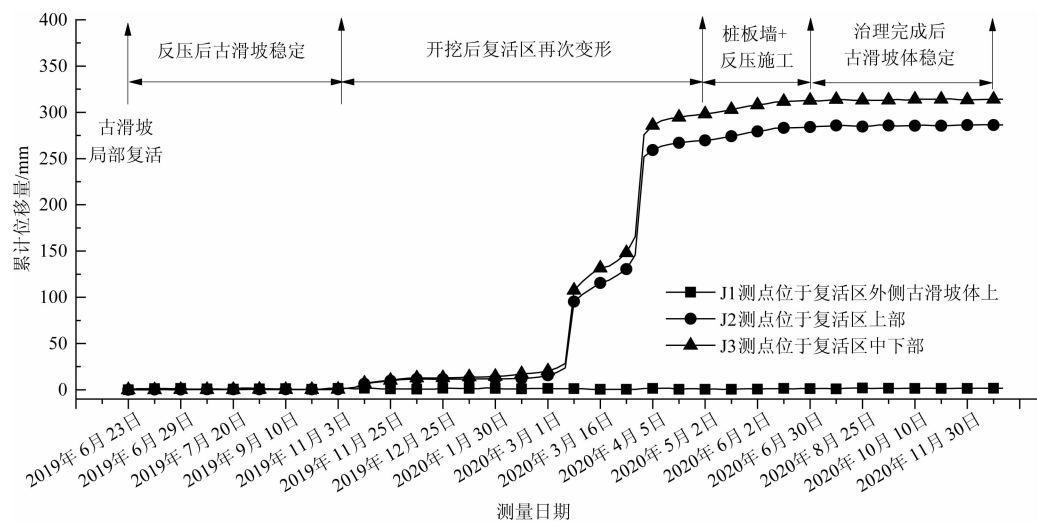


图5 监测点变形曲线

2020年6月治理工程完成后,坡体变形曲线收敛,坡体无明显变形。由此可见,桩板墙+反压方案对滑坡体治理后滑坡处于稳定状态。

4 结论

青岗古滑坡体为基岩顺层失稳堆积形成,下部土体以力学参数低的角砾土、含砾黏土为主,在开挖及降雨诱发下古滑坡体前缘发生失稳复活。

青岗古滑坡体下部复活后,不仅需要考虑复活区滑坡推力,还应考虑整个古滑坡体滑坡推力,两者需取大值进行古滑坡体治理设计。同时设计方案应考虑工程时效性、施工快速性,防止古滑坡体整体发生复活变形。

古滑坡体下部开挖应先进行预支挡。若古滑坡体下部复活后,反压是对古滑坡体下部复活应急治理的经济有效手段;桩板墙+反压方案可对古滑坡体及复活区进行有效治理。

参考文献

[1] ZHANG S,LI C,PENG J Y,et al. Fatal landslides in China from 1940 to 2020:occurrences and vulnerabilities[J]. Landslides,2023,20:1243-1264.

[2] 许强,唐然. 红层及其地质灾害研究[J]. 岩石力学与工程学报,2016,42(1):28-50.

[3] 周剑,邓茂林,李卓骏,等. 三峡库区杉树槽滑坡成因及视向滑动机制分析[J]. 防灾减灾工程学报,2020,40(6): 860-866,883.

[4] 《中国公路学报》编辑部. 中国路基工程学术研究综述·2021[J]. 中国公路学报,2021,34(3):1-49.

[5] 唐雪梅,李夕兵,唐军峰. 顺层古滑坡体变形特征及综合治理[J]. 工程勘察,2010,38(9):13-17,89.

[6] 周洪福,方甜,夏晨皓,等. 工程扰动诱发川西杜米滑坡复

活变形特征及机理分析[J/OL]. 现代地质:1-11[2022-10-28]. <https://doi.org/10.19657/j.geoscience.1000-8527.2022.084>.

[7] 王伟,王卫,戴雄辉. 四川美姑拉马阿觉滑坡复活特征与影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2022,33(4):9-17.

[8] 王丰,刘天翔,雷航. 山区高速公路深厚古滑坡堆积体复活特征机制及防治对策研究[J]. 中外公路,2021,41(4): 15-20.

[9] 王子忠,许模,杨绍平. 瓦屋山水电站厂房区红层岩体古滑坡稳定性研究[J]. 工程地质学报,2011,19(2): 213-218.

[10] 赵海松,张乐,郭凯,等. 考虑侧壁阻力的顺层边坡失稳机制及稳定性评价[J/OL]. 防灾减灾工程学报:1-10 [2023-02-20]. <https://doi.org/10.13409/j.cnki.jdpme.20221111002>.

[11] 黄润秋. 20世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(3):433-454.

[12] 刘明扬,武哲,付晓东,等. 不同降雨条件下堆积体边坡响应规律与失稳力学机制分析[J]. 科技和产业,2021,21(7):266-274.

[13] 黄海韵. 水城县尖山营滑坡成因及稳定性分析[J]. 科技和产业,2021,21(3):274-278.

[14] 裴振伟,年廷凯,吴昊,等. 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,2021,41(6): 1382-1394.

[15] 彭泽乾,彭川. 山岭区高速公路古滑坡体失稳及工程治理研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2022,42(5):31-38.

[16] 王盟,李勇. 受扰失稳古滑坡体的工程治理实践[J]. 人民长江,2018,49(S2):94-97.

[17] 许鹏飞. “回填反压”措施在滑坡治理工程中的应用与研究[J]. 地质灾害与环境保护,2017,28(1):78-82.

[18] 秦俊熠,桑彦庭,佟新日,等. 高原地区抗滑桩边坡稳定性分析[J]. 科技和产业,2023,23(5):245-250.

[19] 唐军峰,唐雪梅,周基,等. 滑坡堆积体变形失稳机制——以贵州剑河县东岭信滑坡为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2022,52(2):503-516.

[20] 中交第二公路勘察设计研究院有限公司. 公路滑坡防治设计规范:JTG/T 3334—2018[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.

Characteristics and Prevention of Local Revival after Excavation of the Front Edge of the Qinggang Ancient Landslide Body

ZHAO Haisong, XIANG Bo, SHAO Jiang, WEI Anhui, WU Kai, ZHANG Lei, LIU Song

(Sichuan Highway Planning, Survey, Design and Research Institute LTD, Chengdu 610041, China)

Abstract: The ancient landslide body is generally in a stable state under natural conditions, but the front edge is prone to revive and deform after excavation. A certain highway in southwestern Sichuan Province passes through the front edge of the Qinggang ancient landslide body, and local revival deformation occurred after excavation. Through geological mapping, drilling, deformation monitoring, and other means, the characteristics and causes of the ancient landslide body and its revival deformation zone were investigated, and prevention and monitoring measures were implemented. The results show that the sliding soil in the front edge of the ancient landslide body is mainly composed of gravel clay and angular gravel soil, with low mechanical parameters, which is the geological condition for local revival. The excavation of the front edge and rainfall are the inducing factors for local revival. Under the premise of considering rapid and reliable construction, the pile-plate wall and counter-pressure scheme are adopted for timely and effective treatment of the landslide body, avoiding the overall revival of the ancient landslide body. The research results can provide survey and design references for the excavation disturbance of the front edge of ancient landslide bodies in subsequent highway and other engineering projects.

Keywords: ancient landslide; excavation; local revival; deformation characteristics; prevention and treatment