

高速公路桥墩处滑坡分析及治理方案研究

刘中平^{1,2}

(1. 安徽交通职业技术学院 基础系, 安徽 合肥 230051;
2. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:滑坡是山区道路桥梁工程常见的地质灾害,而滑坡体受自然和人为活动影响发生的蠕动变形将严重威胁到桥梁的结构安全和高速公路行车的安全。以安徽省某高速公路桥墩处滑坡为例,通过现场调查的研究手段,分析了滑坡的形成条件以及影响滑坡稳定性的主要因素。通过滑坡理论计算分析,论证了该滑坡的稳定性。根据滑坡的特点,提出“支挡防护+防排水”的综合治理措施,加固后坡体整体处于稳定状态,证明了加固方案取得了良好的工程效果。对类似滑坡工程治理有一定的参考价值。

关键词:高速公路;滑坡;稳定性分析;治理方案

中图分类号:P642.22

文献标志码:A

文章编号:1671-5322(2020)02-0058-05

边坡滑坡是山区和丘陵地区一种非常常见的地质灾害,其发生往往与该区域岩土性质与分布有关^[1-2]。安徽省高速公路边坡岩土体类型可分为:沉积岩、岩浆岩、变质岩及第四纪土体4种,常见的滑坡形式有:沉积岩、变质岩顺层滑坡以及构造结构面滑坡;岩浆岩全强风化层(残积层)类均质体滑坡;岩浆岩全强风化层构造结构面滑坡;第四纪土体沿堆积结构面滑坡以及沿基岩顶面滑坡等几种类型^[3-5]。本滑坡所在高速公路位于安徽西部地区,地跨安庆和六安二市,是规划连通江西省一皖西北—山东省干线公路的重要组成部分,建设标准双向四车道。建设期K95+309~K95+410桥梁段右侧桥头段边坡最大挖方坡高约9.7 m,坡脚为3.1 m高混凝土挡墙,挡墙顶宽1.4 m,墙顶平台宽约6~10 m,以上坡高8.1 m,坡率1:0.6,埡顶为自然缓坡,植被较为发育。2016年6月养护单位发现该段右侧桥头段边坡出现开裂并有一定程度的滑移,局部边坡土体已经滑落至桥下挡墙平台位置。现场发现该段边坡坡面距桥靠山一侧的防撞护栏水平距离为1.5~4.5 m,该桥的7#台、8#~10#墩就位于滑坡体内,有超过30

m挡墙被滑坡表面的土体掩埋了。若该滑坡进一步继续发展,将威胁到桥梁的结构安全和高速公路行车的安全^[6-7]。

1 滑坡地质概况

1.1 地形地貌

边坡区属山岭区,地貌形态为带状山坡,山体自然坡度 $45^{\circ}\sim 58^{\circ}$,植被发育,坡面树木主要为经济林板栗树。根据施工前的调查资料显示,该路段附近存在多处老滑坡,本处滑坡体上植被茂密,周界明显,呈双沟同源地貌,边坡中上部见一大平台,平台附近见多级小平台,平台上岩土体为松散碎石土,地表多见块径20~50 cm块石和块径2~10 cm碎石,易透水,据此可推测该处为老滑坡体的滑坡平台,坡面见二道自然冲沟,呈人字状。从微地貌可推测本次滑坡是发生在老滑坡体上的新滑坡,滑坡体如图1所示。

1.2 地质构造

该工程的挖方段通过断裂带,断裂走向与线路走向呈大角度相交,斜坡坡向角度为 42° ,坡向基本一致,倾向角度在 $105^{\circ}\sim 162^{\circ}$ 范围,倾角角

收稿日期:2019-07-16

基金项目:安徽省质量工程重点项目工程造价专业建设(2013tszy080)。

作者简介:刘中平(1963—),男,安徽池州人,副教授,硕士,主要研究方向为土木建筑工程道路桥梁工程。



图1 滑坡体示意图

Fig 1 Schematic diagram of landslide body

度在 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 范围,断层破碎带宽约为 14 m,断层属性为逆断层。

1.3 地层岩性

该滑坡表层为第四纪 ($Q4^{al+pl}$) 坡积物,下部为滑坡堆积物 ($Q4^{del}$),下伏基岩为寒武纪中风化变质红砂岩。

1.3.1 第四纪坡积物 ($Q4^{al+pl}$)

主要碎石土:黄褐、灰黄色,稍湿,硬塑,夹较多砂岩碎块,角砾状,块径 2 ~ 10 cm,局部地段见大块石,成分主要为砂岩或断层角砾岩,块径 0.2 ~ 1.5 m,分布于斜坡表层,层厚 1.8 ~ 7.4 m,平均厚度约 6.5 m。

1.3.2 滑坡堆积物 ($Q4^{del}$)

主要为块石、碎石土:灰黑色夹黄色,块、碎石含量高,原岩为变质砂岩,岩石风化不均,岩芯呈砂土状、碎块状或短柱状,风化不均。局部地段岩质极软,遇水易软化。层厚 7.4 ~ 19.8 m,平均厚度 14.8 m。

1.3.3 寒武纪变质砂岩

中风化变质砂岩:灰 - 灰黑色,粉砂变质结构,挤压条带构造,岩芯呈柱状,节长 4 ~ 30 cm, $RQD = 41\%$,岩体见挤压变形迹象,局部见炭质,岩体坚硬。

1.4 水文地质条件

桥下坡脚挡墙泄水孔多处渗水流泥,附近冲沟地段有多处地下水出露。据钻探揭露,每个钻孔均有地下水,测得地下水埋深 2.9 ~ 9.7 m。通过试验地下水对混凝土结构具微腐蚀,对钢筋混凝土的钢筋具微腐蚀。

2 滑坡特征、成因及稳定性分析

2.1 变形过程及破坏特征

本文所讨论的滑坡是发生在老滑坡体上的新

滑坡。2008 年在施工 7# 台、8# ~ 1# 墩桩基平台时开挖形成了一个 9.8 m 的边坡,采用挡墙加填方反压方案进行处理。2016 年 5、6 月梅雨季节,该滑坡所在区域连降暴雨,养护单位在巡查过程中发现右侧边坡植被略微倾斜,6 月 26 日该边坡出现开裂并有一定程度滑移,局部边坡土方已滑落至挡墙顶部平台位置。6 月 27 日现场采取封闭裂缝、彩条布覆盖滑坡体、增设截水沟、桥下挡墙采用沙包反压以及增设监测点等应急处理措施。6 月 29 日现场调查新滑坡后缘裂缝长约 31 m,裂缝最大宽度 7 cm,裂缝与桥面高差约 9.5 m,距滑坡前缘水平距离约 28 m。滑坡体沿线路方向长约 35 m,滑动面积约 2 100 m²,最大厚度 12 m,平均厚度 7.6 m,滑坡面积约 1.05 × 98 m²;滑坡体积 1.5 × 98 m³,属于小型滑坡^[8]。

老滑坡右侧界位于线路 K95 + 309 自然沟处,沟的走向 NE 30° ~ 50°。滑坡左界位于线路 K95 + 410 的自然冲沟处,沟的走向 NE 30° ~ 40°,滑坡后壁位于滑坡平台以上的自然斜坡,斜坡倾向约 45°,倾向约 31°,由 NW 向 NE 倾斜。从地质补勘过程中各钻孔中,均见到老滑带。滑带位于中风化变质砂岩以上的软弱带,褐黄色、灰黑色,滑带物质为岩粉、砂土、泥土夹层。老滑坡体宽约 74 m,长约 177 m,滑体最大厚度约 19.7 m,平均厚度约 11.6 m,滑坡平面面积约 2.4 × 155 m²,滑坡体积 20.9 × 155 m³,属于厚层中型滑坡^[9]。

综合现场对新滑坡与老滑坡的地质勘察,可知老滑坡目前处于蠕动挤压状态,新滑坡靠近老滑坡的前缘右端。根据边坡的坡形、岩性组成、坡体结构及滑动带可能的强度参数进行综合判断,新滑坡不具备自发条件,新滑坡应是老滑坡的蠕动变形推挤形成的^[10-11]。同时,老滑坡虽然没有形成滑动,但滑坡左界变形迹象十分明显,具体表现在滑坡前缘左侧的刷方边坡上发现滑坡左界剪切破坏,已密封的裂面已经张开,局部也出现岩块松动的现象,故在老滑坡左界形成明显的剪切破坏带,且老滑坡处于整体滑动前的蠕动挤压阶段。随着地表水和地下水的不断作用,新滑坡与老滑坡随时都有产生大滑动的可能,若不对其进行处理,会直接危及在建桥梁桥墩的安全。

2.2 滑坡成因及稳定性分析

山区高速公路边坡出现滑坡现象,主要有内和外两方面的原因。内因主要包括地形地貌、地

质因素、岩体特性、构造因素以及地震因素等方面,外因主要包括长期降雨、暴雨、地下水流动以及人类活动等方面。内因与外因之间存在密切的关系,两者既相互独立,也相互联系与相互补充。实践证明,从内因与外因的共同角度分析与评价边坡滑坡是直接且有效的方法。

结合高速公路边坡的现场调查,对该地段的工程滑坡成因及稳定性进行分析。(1)内因。边坡土体中有一层为老滑坡堆积物,主要为块石与碎石土,块、碎石含量大,局部地段岩质极软,遇水易软化,斜坡倾向约 55°,倾角约 51°,故该段地质条件相对较差,坡面整体是块状结果,并不能形成很好的稳定性,同时边坡滑坡体具有相对较大的坡度,很容易出现滑坡现象,因此已存在的老滑坡体为新滑坡堆积物提供了良好的基础。结合现场的地下水流动情况,该地段施工期间处于梅雨季节,滑坡所在区域出现连降暴雨的不良天气,由于边坡植被与树木防护被破坏,使得坡体富水性变差,导致边坡下滑明显增大;连续的降雨下渗导致雨水沿节理裂隙渗入坡体形成局部软弱滑动带,同时下渗的地下水起到软化作用,使岩土滑动带的抗滑力显著减小,且由于该区域岩体稳定性不足,丰富的地下水也改变岩体的基本性质,从而大大降低了岩体的抗剪强度,因此,连续的降雨是造成边坡滑坡的主要因素。(2)外因。在边坡坡脚处修建高速公路,对原有的坡脚进行了开挖并回填黏性土,故坡脚的开挖使得原滑坡体向临空面应力释放,挡墙加填方反压方案提供抗滑力不足,且由于回填黏性土,堵塞了原有地下水的天然通道,使地下水不断的上升承压,软化滑带土的强度,同时形成强大的动水压力和静水压力,增大了下滑力,滑坡体的稳定性严重的下降,因此,边坡坡脚的开挖及回填是边坡滑坡的直接因素。

综合以上分析,可知老滑坡体的存在为新滑坡体提供滑坡基础,连续降雨是滑坡的主要因素,而边坡坡脚的开挖及回填是边坡滑坡的直接因素。因此,高速公路边坡的滑坡体稳定性严重不足,需对该滑坡段进行防治处理,以免再次出现新的滑坡,危及高速公路桥梁桥墩的安全。

结合该地段的滑坡成因分析,可知由于边坡坡脚的开挖,造成了原有的边坡加固方案提供的抗滑力不足,进而导致了新滑坡的出现。根据稳定性分析,新滑坡是由老滑坡蠕动挤压形成的,且处于极限平衡状态。新滑坡后缘裂缝已经形成,

滑坡出口尚未形成,滑坡稳定系数可以近似的等于 1.0。老滑坡已有局部复活迹象,处于复活期的蠕动阶段向挤压阶段的过渡期,局部(新滑坡)稳定系数可以近似的等于 1.0,整体稳定系数可以近似认为大于 1.0。

3 滑坡稳定性计算

3.1 计算方法

滑坡勘察是提出合理治理方案的前提和必要条件^[12],本项目沿老滑坡主滑动方向布设了 3 个勘探横断面以及 1 个勘探纵断面。通过勘察,各个钻孔均发现老滑坡的滑带。滑带位于中风化变质砂岩以上的软弱带,褐黄色、灰黑色,滑带物质为岩粉、砂土、泥土夹层。

老滑坡稳定性验算选取 K95 + 309、K95 + 370 作为计算断面,岩土体及滑动面计算参数根据地质勘探、极限平衡方法、工程类比经验数据等方法,结合边坡滑坡可能出现的最不利情况进行分析确定。根据文献[13]的规定,沿折线滑动面滑坡稳定性计算采用传递系数法进行计算。具体计算公式如下:

$$\begin{aligned} T_i &= F_s W_i \sin a_i + \psi_i Y_i - 1 + \\ &W_i \cos a_i \tan \varphi_i - c_i L_i; \\ \psi_i &= \cos(a_{i-1} - a_i) - \sin(a_{i-1} - a_i) \tan \phi_i \end{aligned}$$

(公式中具体符号的意义参见文献[13])

3.2 安全系数选取及计算结果

根据文献[13]的规定,高速公路、一级公路安全系数应采用 1.20 ~ 1.30,鉴于本滑坡坡脚位于桥头挖方段,故该路段的设计安全系数取 $K = 1.3$,考虑最不利工况下滑坡推力计算结果如表 1 所示。

表 1 滑坡推力计算表
Table 1 Calculation of landslide thrust

计算断面桩号	计算参数	剩余水平下滑力 $E_x/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$
K95 + 309	$C = 12 \text{ kPa}, \phi = 19.3^\circ$	3 152
K95 + 370	$C = 12 \text{ kPa}, \phi = 18.2^\circ$	1 994

由表 1 的结果可知,计算断面 K74 + 300 的剩余水平下滑力为 3 152 kN/m,断面 K74 + 370 的剩余水平下滑力为 1 994 kN/m,故该区域地段的最大安全储备仅为 3 152 kN/m。因此,该区域段滑坡若不及时治理,在连续降雨的条件下,会软

化滑坡区域土体强度,增加土体下滑力,很快就会超过该区域的下滑力的安全储备,会很容易诱发新边坡体滑坡,会危害高速公路桥梁桥墩的安全。

4 滑坡的综合治理

滑坡治理应本着治早治小、一次治理不留后患与全面规划综合治理的原则,采取支挡防护与刷方减载齐举,坡面防水与深层排水并重的治理措施。本滑坡地处运营路段与地质情况较为复杂地段,本着一次治理不留后患的原则,对新、老滑坡体采取以下3种防护措施共同防护,滑坡治理防护如图2所示。

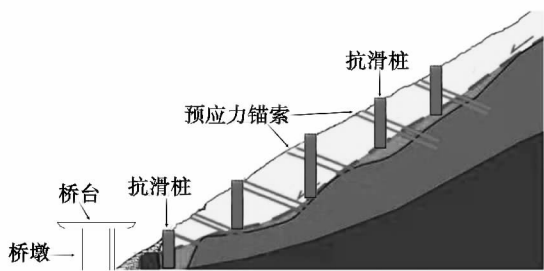


图2 滑坡治理防护示意图

Fig 2 Schematic diagram of landslide control and protection

4.1 支挡防护工程

在距靠山侧防撞护栏8.0 m处设置一排锚索抗滑桩,桩径2.5 m×2.0 m,间距5 m,桩深15.0~19.0 m,在桩顶以下1.0 m设1排2根5φ15.2 mm预应力锚索,锚索长度均为35.5 m。同时,在坡面上设3排5φ15.2 mm预应力锚索,锚索沿线路方向间距3.0 m,垂直方向间距4.0 m,锚索长度均为37.0 m。

4.2 坡面防护

在下排锚索抗滑桩施工完毕后,间断拆除原坡脚挡墙,挖除坡脚挡靠山侧原填土体,对山侧坡面采用厚0.5 m的M10浆砌片石防护。同时,在施工完抗滑桩间仰斜排水孔后,挡墙靠山侧采用挖桩后的块石、碎石回填。在加固工程措施、地下及地表排水措施完成后,在现状坡面采用喷草籽进行坡面防护。

4.3 排水防护

设置截水沟作为重点排水措施,在坡面新设3道截水沟,采用C25素混凝土浇注,厚度30 cm;其次设置集水井、集水孔及仰斜排水孔,在滑坡靠近岳西端设5个集水井,每个集水井护壁外侧设C25挡墙防护,长9.0 m,墙筒平均2.5 m,墙厚1.7 m,集水井与集水井之间采用φ200集水孔连接,仰角5°~15°,孔距0.2 m,内插175×4.8 mm高强度UPVC管,集水井环向设5~8排φ120斜向泄水孔,泄水孔深12.0~25.0 m;设置仰斜排水孔,抗滑桩间设2排仰斜排水孔,距原地面高度分别为0.6 m、1.4 m,孔深均为45.0 m,沿路线方向间距5.0 m,仰角均为7°,内插75×2.3 mm PVC管,当仰斜排水孔与锚索相交时,排水孔位置应作适当调整,对于仰斜排水孔的水,采用12.0 m φ125×4.8 mm PVC管引出挡墙外。上述3种类型的防水防护设置,用于不同区域的排水作用,以保证降雨或者地下水能畅通远离滑坡体。

5 结语

本滑坡属于已稳定的老滑坡,由于高速公路桥梁桥墩的修建重新形成临空面诱发老滑坡局部复活,该滑坡采用支挡、防护与防、排水相结合的措施进行综合治理。本滑坡已治理完成2年时间,经历了多次暴雨和冰冻的考验,实践证明加固后坡体整体处于稳定状态,边坡治理效果良好。

参考文献:

- [1] 钱让清,钱芳,钱王苹.公路工程地质[M].3版.合肥:中国科学技术大学出版社,2015.
- [2] 鲁嘉濠,李妍均,徐洪,等.西南山区滑坡灾毁耕地修复利用适宜性评价研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(S1):109-114.
- [3] 袁从华,章光,闵弘,等.某高速公路K90~K95滑坡表现形式及工程整治设计[J].岩土力学,2002,23(3):334-336.
- [4] 陈静曦,许东俊,韩行忠,等.沉积岩丘陵地区高速公路路堑边坡滑坡加固与治理[J].公路,2003,48(1):69-72.
- [5] 王佳运,张成航,高波,等.陕西省特大型滑坡空间分布规律与类型划分[J].水土保持研究,2017,24(2):359-364.
- [6] 任俊甫.滑坡对桥梁结构的影响及处治技术研究[J].公路交通科技(应用技术版),2007(8):133-135.
- [7] 卢三平.滑坡体上桥梁设计的防护措施研究[J].高速铁路技术,2017,8(1):15-18.

[8] 丁忠民. 高速公路小型滑坡的治理[J]. 公路与汽运,2013(4):136-138.

[9] 孙兆刚,王宝军. 贵州省某高速公路中型滑坡处治设计浅析[J]. 北方交通,2015(5):76-78.

[10] 陶志平,周德培. 蠕动型滑坡隧道的变形规律及灾害预测[J]. 西南交通大学学报,2007,42(2):163-168.

[11] 王振伟,王来贵,王建国,等. 弱面控制蠕动边坡变形机制及滑坡控制技术[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2010,29(2):197-200.

[12] 王永成,周祖平,闻芳芳. 某滑坡勘察及稳定性分析[J]. 西部探矿工程,2010,22(6):28-31.

[13] 交通部第二公路勘察设计院. 路基设计规范:JTG D30—2015[S]. 北京:人民交通出版社,2015.

Study on the Analysis and Treatment Scheme of Landslide at the Bridge Pier of Expressway

LIU Zhongping^{1,2}

(1. Department of Basic, Anhui Communications Vocational and Technical College, Hefei Anhui 230051, China;
2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei Anhui 230009, China)

Abstract:Landslide is a common geological disaster of road and bridge engineering in mountains areas, the creep deformation of landslide body affected by natural and man-made activities will seriously threaten the safety of bridge structure and expressway driving. This paper takes a landslide at the bridge pier of expressway in Anhui Province as an example, the formation conditions of the landslide and the main factors affecting the stability of the landslide are analyzed by means of field investigation. The stability of landslide is proved by theoretical calculation and analysis of landslide. According to the characteristics of the landslide, the comprehensive treatment measures of "support protection + waterproofing and drainage" are put forward, and the whole slope is in a stable state after reinforcement, which proves that the reinforcement scheme has achieved good engineering effect. It has certain reference value for similar landslide engineering treatment.

Keywords:expressway; landslide; stability analysis; treatment scheme

(责任编辑:张英健)