

云南某膨胀土地基路堤滑坡治理研究

尹祯昌

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:针对云南某膨胀土斜坡地基上路堤滑坡,从地形地貌、裂缝分布、人为因素等方面分析了成因。结合补充勘察、深层观测确定主滑动面位置,通过室内试验和稳定性反算确定滑带强度参数。在计算下滑力的基础上,结合路堤填料情况、施工条件、滑坡体状况确定了卸载+抗滑桩分级支挡+路基加筋+排水梳理坡面防护的综合处置方案,并取得了良好的处置效果。

关键词:膨胀土地基;路堤滑坡;治理;抗滑桩

中图分类号:U417

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)06-0060-04

0 引言

膨胀土因其胀缩性、裂隙性、超固结性,在大气干湿循环作用下,工程性质反复发生显著变化,极易引起路基滑坡坍塌等病害。西部课题“膨胀土地区公路修筑成套技术研究”虽已对膨胀土路基设计、边坡治理等进行了深入研究并取得了大量成果,有效减少了膨胀土地基路基事故的发生,但受制于各工程实际情况,因施工进度、界外水影响等原因,膨胀土地基路堤滑坡仍时有发生。

本文以云南保山地区某膨胀土地基路堤滑坡治理为例,采用钻探、测斜管等检测方法,对滑坡成因、滑动面确定进行了分析判断,制定了卸载+抗滑桩分级支挡+路基加筋+排水梳理坡面防护的综合处置方案,取得了良好的处理效果,可为其他类似滑坡治理提供借鉴。

1 工程简介

滑坡道路位于云南省保山市,地基土层为弱~中膨胀土,地基胀缩变形总量为59.9 mm,胀缩等级为II级。

所处道路等级为主干路,路基顶宽50 m,2016年10月开工建设。工点路基设计最大高度14 m,基底采用1 m片石换填,上部土夹石填筑,边坡6 m一级,上部坡率1:1.5,下部1:1.75,平台宽度2 m,最下级边坡设置10 m宽护坡道。2017年5月,路基填筑至约10 m,并移交综合管廊进行施工。10月底

雨季结束后,恢复路基填筑,填筑至高度12 m时,西幅路堤顶面产生裂缝并出现滑动。至11月底,滑坡体顶部最大沉陷近3 m,向西北方向位移约2.5 m(见图1、图2)。

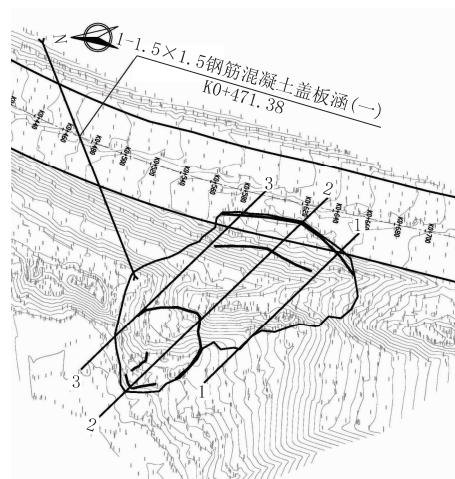


图1 滑坡范围



图2 路堤滑坡现场

滑坡体后缘标高1 696.23~1 699.05 m,前缘标高1 670.90 m,最大相对高差约28 m。滑体斜坡面纵坡降17.9%,滑坡平面呈不规则长条形,滑体长约157.0 m,宽约72.0 m,平面面积10 625.6 m²,滑体平均厚7.20 m,体积约8 789.0 m³,为小型推移式土层

收稿日期:2021-03-09

作者简介:尹祯昌(1988—),男,本科,工程师,从事道路设计工作。

滑坡。

2 工程地质条件

2.1 气候条件

保山属亚热带高原山区气候,大部分地区冬无严寒,夏无酷暑,四季如春。冬春两季雨水稀少,空气干燥,夏秋两季雨水较多。全区多年平均降雨量 966.5 mm,多年平均降雨日数 187 d。

2.2 地质构造

场区域上处于三江褶皱系中的保山-澜沧江构造带中,构造以北东向延伸的正断层为主,无全新世活动断裂和发震断裂分布。

2.3 地基层层

上层主要为湖积层(Q^{al+1})黏土,下部为上第三系(N₂)黏土层,均具弱~中等膨胀潜势。

第③层:黏土。棕灰、黄白、灰黄色,可塑状,局部硬塑状,干强度韧性高,泥裂发育,干易开裂,遇水易软化,一般具弱~中等膨胀潜势,物理力学性质较好。场区连续分布,揭露层厚 4.40~17.70 m,平均厚度 9.89 m。

第④层:黏土。青灰、灰黑色,局部灰蓝色,硬可塑状,稍湿,切面光滑,有光泽,干强度韧性高。泥裂发育,干易开裂,浸水易软化崩解,一般具弱~中等膨胀潜势。该层连续分布,物理力学性质较好,揭露厚度 9.20~17.60 m,平均厚度 13.86 m。

3 滑坡成因分析

滑坡发生后,经现场实地踏勘,该路段坡底和外部原地面有裂缝产生,但无明显隆起;沟底路基填筑最高位置未发生滑移,基本排除因地基土强度不足发生深层滑移的可能性。滑坡体上游普遍存在地表积水,地形低点涵洞无水流入。结合工点补充勘察,经初步判断,滑坡由以下两个原因引起。

一是地下水或地表水因素。水是促使滑坡形成的主要因素,滑坡区坡体岩土体富水性差异较大,上覆残坡积层为散体结构,透水性较好,中下部的黏性土属相对隔水层,强度较高。因此,地表水沿透水性强的填土孔隙下渗至下伏透水性弱的土层表面,长期浸泡后易形成软弱滑移面。

二是斜坡体填土加载。这是滑坡形成的诱发因素。该滑坡形成是由于在原地表上大量堆载加压,破坏了下部土层力学应力,导致下部土体结构破坏,在其他不利因素影响下形成滑坡。

本次滑坡应是由填筑速率过快诱发、顺地形最大坡度方向、沿原地面位置发生的滑移。路基顶部和坡面均出现拉裂裂缝,基本判定护坡道以内路基为滑坡主动区,现有护坡道、外部弃土和外部原地面为滑坡被动区。

4 滑动面的确定及下滑力计算

4.1 滑动面确定

膨胀土因在干湿循环作用下裂隙发育,难以像岩质边坡滑坡一样通过钻孔取样揭示滑动面位置,本工点通过补充钻孔探坑、布置测斜管观测综合确定滑动面位置。勘察过程中通过观测孔壁土体挤压,钻杆受挤压位置基本位于原地面附近,并揭示第③层黏土内部存在软弱夹层面,呈灰黄色、浅灰色,潮湿,可塑,厚 0.10~0.20 m。滑坡发生后,沿主滑动方向布置了 4 个断面共计 13 根测斜管进行了深层位移观测,主滑动截面 2-2' 位移观测结果见表 1。

表 1 截面 2-2' 测斜管观测数据

测斜管 编号	埋设深度 /m	观测起止日期	累计位移 /mm	位移突变处 深度
04	24	12 月 22 日—1 月 23 日	21.5	12.5
05	14	12 月 22 日—1 月 23 日	13.1	6.0
06	14	12 月 22 日—1 月 23 日	8.97	7.5
07	11	12 月 22 日—1 月 23 日	0.95	/

测斜管观测数据推算,位移突变点高程与第③层顶面高程基本吻合。经综合判断,滑带(面)形态与斜坡原始地形密切相关,滑面倾角 4°~6°,整体滑动面为折线形(见图 3)。

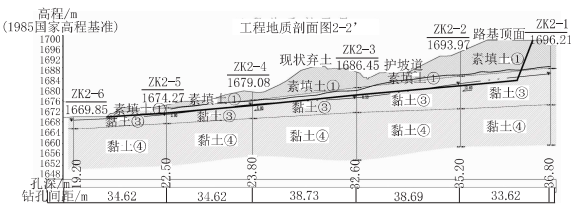


图 3 主截面 2-2' 滑动面

4.2 滑带强度参数反算

根据现场位移观测,滑坡体滑动逐渐趋于稳定,处于微动状态。根据文献[1],稳定性系数取 0.99,以主截面 2-2' 进行滑带强度指标反算。主滑带岩土强度参数见表 2。

结合室内反复直剪试验结果进行折减修正,滑坡验算采用参数见表 3。

4.3 下滑力计算

滑体物质主要为第四系松散土体,沿第③层黏土内部的剪切结构破坏面产生滑移。滑坡面总体成

表2 滑带岩土强度推算参数

土层	C/kPa	$\phi/(^{\circ})$
滑面(路基填土)	0	15
滑面(③层内)	6	6

表3 岩土体计算参数

土层序号	土层	饱和重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	饱和直剪		饱和残余剪	
			C/kPa	$\phi/(^{\circ})$	C/kPa	$\phi/(^{\circ})$
①	素填土	23.0			0.0	14.0
	H-滑带土				4.6	3.8
③	黏土	18.5	29.3	9.0		
④	黏土		28.4	7.9		

折线形(见图4)。采用通用的传递系数法计算滑坡稳定性和推力(见表4)。因计算采用饱和强度,不再单独进行暴雨工况下的稳定性和推力计算。

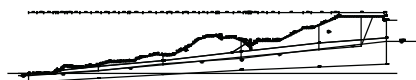


图4 主截面2-2'下滑力计算简图

表4 2-2'截面下滑力计算结果

剖面编号	分块	推力角度 $\gamma/(^{\circ})$	工况	
			I 正常	II 地震
			剩余下滑力	剩余下滑力
2-2'剖面	1	68.55	902.28	815.92
	2	5.33	484.29	390.86
	3	5.05	508.79	372.54
	4	5.05	493.37	343.25
	5	5.71	568.58	358.55
	6	5.01	479.00	248.73
	7	3.62	368.63	133.26

5 处理方案

目前处理路基滑坡的主要手段包括卸载反压、锚杆锚索、树根桩、抗滑挡墙、抗滑桩等^[2]。受制于路堤采用土夹石填筑,且施工过程中存在超粒径填筑的实际情况,预制桩打入困难。滑动体腰部坡面裂缝较多,采用锚杆锚索亦难以确保可靠的锚固力。路堤下滑弃土已有次级滑坡产生,滑坡前缘反压和开挖施工抗滑挡墙风险巨大。综合以上因素,结合现场上部路堤和护坡道位置土体较为完整的实际情况,以及“固脚强腰”的边坡治理理念,制定了四步走的卸载+分级抗滑桩支挡+路基加筋+排水梳理坡面防护的综合处置方案(见图5)。

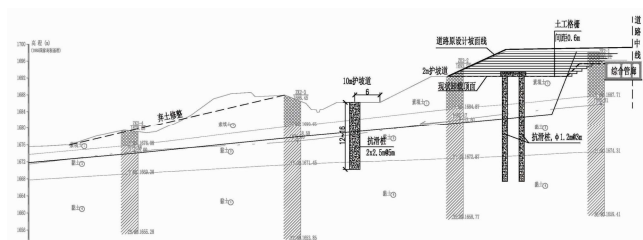


图5 滑坡治理方案断面图

5.1 梳理上游排水系统、顶部卸载

上游界外水和上部加载为本滑坡发生的主要诱因。首先对上游界外水进行疏导,完善尚未实施的边沟截水沟等排水设施,将水引入低点涵洞,避免对滑坡体的进一步影响。对坡面裂缝进行注浆封闭,避免降水直接渗入主动区土体和弱化滑动层强度。对滑坡体顶部土方进行卸载,卸载高度约3 m至二级平台位置,为下部抗滑桩的施工提供工作面和安全系数。

5.2 打设两排腰部抗滑桩

为控制路基横向位移,确保管廊安全,支挡部分滑坡体主动区土体承载后续上部填土部分重量,于设计路肩位置打设两排钻孔灌注桩。灌注桩桩径1.2 m,桩长16~25 m,设计单桩最大抗力805 kN,同排桩间距3 m,排间距4 m。为充分发挥挡土作用,桩基采用梅花形布置。为提高桩基抗弯刚度、确保两排桩共同受力,桩顶采用冠梁连接。考虑原地面位置存在约1 m厚片石层,已填筑路基为土夹石填筑,桩基原地面以上采用人工挖孔成孔,原地面以下采用旋挖钻机机械成孔。

5.3 坡脚抗滑桩

考虑滑坡下缘现状弃土已出现裂缝,对上部支撑作用有限,且已有次生滑坡产生,同时确保地震等不利工况下的边坡稳定性,于护道内侧2 m位置增设一排人工挖孔桩,作为承载横向推力的主体。人工挖孔桩桩径2×2.5 m,桩长12~16 m,设计单桩最大抗力6 242 kN。桩间距5 m,桩顶采用冠梁连接。

5.4 路基加筋+排水梳理坡面防护

上部路基采用加筋土进行填筑,土工格栅间距0.6 m一层,以均衡上部荷载,提高路基整体性。完善坡面拱形骨架+支撑渗沟防护,避免降水和界外水对边坡产生影响。修整路基坡脚外侧弃土坡度,设置树枝状盲沟等排水设施,顶面压实,植草绿化,防止后期下滑弃土滑动影响边坡治理效果。

5.5 有限元验证

采用Z-soil软件,对有限元强度折减法,对处

理后路堤稳定性进行数值建模与计算。经验算,边坡治理后最不利截面位置,正常工况下安全系数为 1.66,地震工况下安全系数为 1.24,满足正常工况下安全系数大于 1.30、非正常工况下大于 1.20 的要求^[3](见图 6、图 7)。

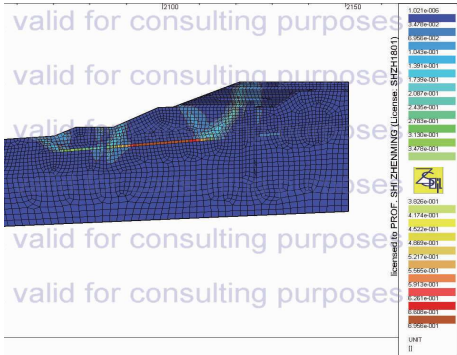


图 6 正常工况应变云图 $F_s=1.66$

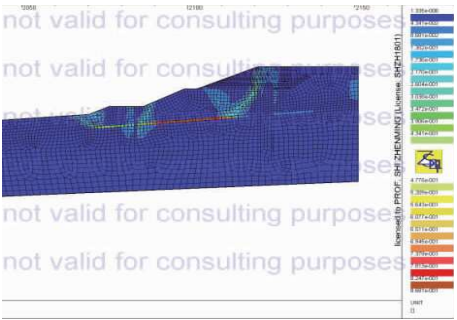


图 7 地震工况应变云图 $F_s=1.24$

5.6 动态监测

同时对边坡进行较为完善的浅层和深层沉降位移观测。深层观测持续至运营期。

6 处理效果

滑坡治理工程于次年 5 月雨季来临前施工完

毕,距今已经历 3 个雨季的考验。经处理后进行的连续位移观测统计,地面位移变化 2.5~15 mm,桩体位移 0 mm,滑体基本无滑移,目前道路已铺筑路面,使用状况良好,达到了良好的治理效果(见图 8)。



图 8 处理完工后现场

7 结 语

云南保山地区某膨胀土地基上路堤滑坡治理取得了良好的治理效果,得出以下结论:

- (1)对膨胀土地基,特别是斜坡坡度大于 1 : 10 的填高超过 10 m 的路堤,有条件时应优先选择桥梁方案通过;无条件时,应于设计阶段设置抗滑措施,进行完善的防排水设计,并于施工中落实。
- (2)膨胀土路基滑动一般以浅层顺地面滑动为主,补勘钻孔钻进记录和深层观测是重要的滑动面判断依据。
- (3)抗滑桩是土石混填路基滑坡治理较为可靠且便于实施的工程措施,设计时应根据滑坡体特征选择合理位置分级支挡以取得最佳处理效果。

参考文献:

[1] 徐邦栋.滑坡分析与防治[M].北京:中国铁道出版社,2001.
[2] 孙家驊,李青松.道路设计资料集路基设计[M].北京:人民交通出版社,2002.
[3] CJJ 194—2013,城市道路路基设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com