

山区公路陡坡路堤滑移破坏治理方法探讨

廖家友¹ 郭强²

1 重庆交建工程勘察设计有限公司, 重庆 401121

2 中冶建工集团有限公司, 重庆 400000

[摘要]山区公路地形地貌复杂, 陡坡路堤分布广泛, 当地面横坡坡度过大时, 在路面交通荷载、暴雨和地下水及人类工程活动影响下, 路堤可能沿斜坡产生横向滑移。现通过一个工程实例, 分析陡坡路堤滑移破坏原因, 评价路堤滑移稳定性, 探讨采用截排水、抗滑桩、坡面防护、路面恢复等进行综合治理的方法。

[关键词]山区公路; 陡坡路堤; 滑移破坏; 病害治理

DOI: 10.33142/aem.v4i7.6404

中图分类号: U416.14

文献标识码: A

Discussion on Treatment Method of Slip Failure of Steep Slope Embankment of Highway in Mountainous Area

LIAO Jiayou¹, GUO Qiang²

1 Chongqing Communications Construction Engineering Survey and Design Co., Ltd., Chongqing, 401121, China

2 China Metallurgical Construction Engineering Group Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract: Mountainous roads have complex landform and steep embankments are widely distributed. When the cross slope of the ground is too large, the embankment may slip laterally along the slope under the influence of pavement traffic load, rainstorm, groundwater and human engineering activities. Through an engineering example, this paper analyzes the causes of sliding failure of steep slope embankment, evaluates the stability of embankment sliding, and discusses the comprehensive treatment methods of intercepting and drainage, anti slide pile, slope protection and pavement restoration.

Keywords: mountain highway; steep embankment; slip failure; disease control

引言

中国山区面积约占全国总面积的 2/3, 山区公路多位于山岭地区, 地形地貌复杂, 路线迂回曲折, 陡坡路堤分布广泛。山区公路陡坡路堤由于设计、施工、养护等方面原因, 常出现路基滑移、沉降等病害; 首先, 由于各种条件限制, 为了节省投资, 建设单位没有给设计单位提供沿线地质资料; 其次, 设计单位在设计方面有以下几方面较容易被忽视: 路基结构层材料弹性模量不协调引起病害; 路线通过湿土、软土等地基未做妥善处理, 地表截排水措施不完善, 形成局部积水; 陡坡路基原地面未设计成台阶状; 再次, 施工期间路基填筑前未清除地表植被层及耕植层, 未将原地面开挖成台阶状; 未对过湿土、软土等路基进行处理; 路基填料成分、含水率、压实度控制不当, 填土质量不合格; 最后, 运营期间未进行及时、正常养护。

本文以一个工程实例, 通过破坏原因分析, 滑移稳定性评价, 试图探讨采用截排水、抗滑桩、坡面防护、路面恢复等进行综合治理的方法进行陡坡路堤滑移破坏治理工程实践, 以期对同类问题有所帮助。

1 工程概述

南方某省道陡坡路堤段在可追溯的至少近 10 年来一直发生着缓慢变形, 导致从滑坡体上通过的省道路基不断发生着缓慢侧向滑移和沉降, 公路养护部门一直采用在病害路段反复填筑新路基的方法保持公路畅通, 但近年由于

重载货运汽车流量激增, 加之周边排泄不畅, 导致陡坡路堤段变形速度明显加快, 路基发生严重侧向滑移和沉降, 形成滑坡, 严重危害往来行人和车辆的安全。

1.1 地形地貌特征

工程场地属构造剥蚀低山斜坡地貌, 地形总体呈东西向长条状岭脊展布。陡坡路堤滑坡位于山间冲沟下部, 坡顶位于冲沟中央, 高程约 483m, 坡脚位于谷底小河河床, 高程约 458m, 相对高差 25m, 滑坡整体坡度约 20°, 中上部地势较为平缓, 坡度约为 10~15°, 下部坡度较大, 约为 30~50°。滑坡左侧及中部原为农田等农业用地, 现已荒废, 现状斜坡杂草丛生。

1.2 空间形态及边界特征

路基滑坡平面呈圈椅状, 纵长约 65~88m, 横宽约 20~45m, 面积约 0.3×10⁴ m², 滑体平均厚度约 8m, 滑坡体积约 2.4×10⁴ m³, 主滑方向约 272°, 滑坡为小型浅层土质滑坡。滑坡体张拉裂隙、剪切裂隙、鼓张裂隙发育, 错台明显, 滑坡体下部电线杆已发生倾斜或倾倒。

滑坡后缘为从冲沟中央盘旋而上的施工便道的外侧陡坎位置, 后缘边界分布高程约为 478.00m~483.00m, 主要以最后侧陡坎及张拉裂隙为界; 两侧以微地貌冲沟附近裂隙边缘为界; 前缘剪出口位于谷地龙驹河河床边缘处临空面, 紧贴河床, 分布高程约 458.0m~460.0m, 虽然剪出部分物质被河水冲走, 但剪出口处土层地下水浸润痕迹, 界线明确。

1.3 滑坡物质组成特征

1.3.1 滑体

滑体物质主要由第四系人工填土 (Q_4^{ml}) 及坡残积粉质粘土 (Q_4^{el+dl}) 组成, 滑体厚度约为 5.20m~11.40m, 滑体厚度受土体内部软弱面形态控制, 呈前后缘薄, 中部厚的特征, 局部坡肩处滑体厚度较大。

根据调查, 滑坡区域原为弃土场, 滑坡未见基岩面暴露, 前缘主剪出口局部可见定向排列的菱形剪力体, 同时可见地下水浸润痕迹, 证明滑体曾经沿土层内部软弱面滑动过, 剪出口附近土层的地下水浸润痕迹亦说明该土体内部软弱面是区内地下水最活跃的地带。钻探揭示填土界面附近粘性土富集, 地下水浸润痕迹明显, 局部碎石颗粒定向排列, 证据充分可靠, 因此, 滑坡滑面为填土界面, 滑面呈弧状, 滑带长约 67.0m, 滑带埋深约 1.2m~8.5m。其滑带物质组成和结构特征与滑体上部填土基本相同, 土体内部浸水软化形成滑面。潜在滑面为下卧土岩分界面, 界面附近强风化基岩岩体结构破碎, 风化裂隙发育, 冲沟汇水可沿界面下渗, 浸水软化形成滑面, 滑带埋深约为 6.6m~11.4m, 滑带长度约 86.5m, 滑带呈折线状, 其滑带物质组成和结构特征与上部坡残积土相同基本相同。本滑坡为土层内部滑塌, 滑床上部物质组成和结构特征与滑体岩土基本相同, 主要由残坡积粉质粘土组成, 厚度为 1.1m~5.4m; 滑床基岩为侏罗系中统自流井组 (J2z) 泥岩、砂岩。

1.3.2 滑(面)带

根据调查, 滑坡区域原为弃土场, 滑坡未见基岩面暴露, 前缘主剪出口局部可见定向排列的菱形剪力体, 同时可见地下水浸润痕迹, 证明滑体曾经沿土层内部软弱面滑动过, 剪出口附近土层的地下水浸润痕迹亦说明该土体内部软弱面是区内地下水最活跃的地带。钻探揭示填土界面附近粘性土富集, 地下水浸润痕迹明显, 局部碎石颗粒定向排列, 证据充分可靠, 因此, 滑坡滑面为填土界面, 滑面呈弧状, 滑带长约 67.0m, 滑带埋深约 1.2m~8.5m。其滑带物质组成和结构特征与滑体上部填土基本相同, 土体内部浸水软化形成滑面。潜在滑面为下卧土岩分界面, 界面附近强风化基岩岩体结构破碎, 风化裂隙发育, 冲沟汇水可沿界面下渗, 浸水软化形成滑面, 滑带埋深约为 6.6m~11.4m, 滑带长度约 86.5m, 滑带呈折线状, 其滑带物质组成和结构特征与上部坡残积土相同基本相同。

1.3.3 滑床

本滑坡为土层内部滑塌, 滑床上部物质组成和结构特征与滑体岩土基本相同, 主要由残坡积粉质粘土组成, 厚度为 1.1m~5.4m; 滑床基岩为侏罗系中统自流井组 (J2z) 泥岩、砂岩。

1.4 滑坡变形现状及破坏模式

滑坡先后出现多处变形, 滑坡后缘陡坎坡度约为 55° , 坡面较为平直, 滑坡后缘发育有 4 条张裂隙 (LF1~LF4), 延伸方向为 $284^\circ \sim 5^\circ$, 长度约为 2.6m~5.3m, 张开度约为 2~5cm; 现状公路路面发育有大量裂隙, 主要代表性裂隙有 4 条, 延伸方向为 $320^\circ \sim 26^\circ$, 张开度约为 1~5cm, 长度约为 0.5~21.0m; 道路内侧石碑倾倒,

边沟被剪断; 原紧贴道路路肩布设的自来水管被外推 2~5m, 原道路外侧护栏被外推 2~3m, 路基路面发生脱离; 滑坡中部主要代表性裂隙有 4 条, 延伸方向为 $370^\circ \sim 35^\circ$, 张开度约为 1~5cm, 长度约为 5.2~21.7m, 局部下挫 5~10cm; 左侧剪裂隙延伸方向约为 $122^\circ \sim 135^\circ$, 张开度约为 2~10cm, 长度约为 24.0m; 左右侧剪裂隙延伸方向约为 $73^\circ \sim 112^\circ$, 张开度约为 3~8cm, 长度约为 31.8m; 滑坡下部主要发育有 13 条鼓张裂隙, 呈发散状分布, 延伸方向为 $120^\circ \sim 287^\circ$, 张开度约为 1~3cm, 长度约为 3.0~5.3m。滑坡剪出口附近土层松散, 块石、碎石大致定向排列, 有地下水浸润痕迹。综上所述, 滑坡浅表层人类工程活动形成堆填方, 为滑坡提供主要物质来源。路面交通荷载激增, 使路面下沉加速, 变形加快, 滑坡体出现剪切裂缝、中部形成拉裂缝及下错滑移变形, 下部出现鼓张裂隙, 随着裂缝缝宽加大, 滑坡后缘及中部将先发生滑动, 推动前部发生推移式破坏。

1.5 影响因素及形成机制分析

滑坡的形成、发展及其未来的演化有其内在因素和外在因素, 其中主要包括滑坡的物质组成及结构特征、路面交通荷载、暴雨和地下水及人类工程活动等。

(1) 地层岩性及分布特征: 滑坡体浅表层分布的填土层厚度约 1.2m~8.5m, 为滑体提供了物质基础。下部为坡残积粉质粘土, 透水性差, 具有隔水性。故地下水易在填土接触带汇集迳流, 造成滑带土饱水软化, 有利于形成滑动面。勘查区为基岩以泥岩为主, 局部为砂岩, 岩体破碎风化程度高, 泥岩裂隙发育。下部为泥岩、砂岩, 透水性差, 具有隔水性。故地下水易在岩土接触带汇集迳流, 造成滑带土饱水软化, 有利于潜在滑动面形成。

(2) 路面交通荷载: 公路路面改造施工完成以来, 由于重载货运汽车流量激增, 路面交通荷载成倍增加, 导致滑坡下滑推力明显加大, 加剧土体变形下滑。

(3) 人类工程活动: 公路从滑坡体上通过, 公路建设时在路基外侧堆土弃方, 填方厚度 1.2m~8.5m, 为滑体的主要物质来源; 沿冲沟中央盘旋而上修建有施工便道, 便道施工时土方随意堆弃, 构成滑坡体后缘主要物质来源, 加之道路边沟改变了原有排水系统, 使雨季时地表水在滑坡体后缘汇集。

(4) 降雨影响: 南方地区的降雨多集中在每年的 5~9 月份, 多高强度的特大暴雨, 对滑坡的变形破坏起着诱发作用。特大暴雨沿坡体后缘拉裂缝下渗, 一方面降低了潜在滑面的抗剪强度, 同时也造成滑体自重增大, 从而促使滑坡稳定性更加恶化。

综上所述, 滑坡浅表层人类工程活动形成堆填方, 为滑坡提供主要物质来源。路面交通荷载激增, 使路面下沉加速, 变形加快, 滑坡体出现剪切裂缝、中部形成拉裂缝及下错滑移变形, 下部出现鼓张裂隙, 随着裂缝缝宽加大, 滑坡后缘及中部将先发生滑动, 推动前部发生推移式破坏。

2 滑坡稳定性计算结果分析

2.1 计算模型及方法

滑坡属浅层土质滑坡, 滑面为折线型, 本次对滑坡主

要采用传递系数法对剖面进行稳定性计算,计算时取滑坡的单位宽度为 1.0m,简化为二维问题,采用折线形滑面边坡传递系数隐式解法进行计算。

$$E_i = W_{Qi} \sin \alpha_i - \frac{1}{F_s} [c_i l_i + W_{Qi} \cos \alpha_i \tan \phi_i] + E_{i-1} \psi_{i-1} \quad (1)$$

$$\psi_i = \cos (\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{\tan \phi_i}{F_s} \sin (\alpha_{i-1} - \alpha_i) \quad (2)$$

式中:WQi—第 i 个土条的重力与外加竖向荷载之和(kN);
 α_i —第 i 个土条底滑面的倾角(°);
 c_i 、 ϕ_i —第 i 个土条底的黏聚力(kPa)和内摩擦角(°);
 l_i —第 i 个土条底滑面的长度(m);
 α_{i-1} —第 i-1 个土条底滑面的倾角(°);
 E_{i-1} —第 i-1 个土条传递给第 i 个土条的下滑力(kN)。

2.2 计算工况

根据《公路路基设计规范》JTGD30-2015,暴雨工况下滑体按饱水考虑,按以下 2 种工况进行稳定性计算:

工况 I:自重+地面荷载;稳定性安全系数 1.05。

工况 II:自重+地面荷载+暴雨;稳定性安全系数 1.01。

2.3 计算参数取值

滑体覆盖层:填土界面、潜在滑面、填土层的天然和饱和重度根据试验统计成果及地区经验综合确定。

表 1 滑体土物理力学参数建议值表

滑体土	重度 (kN/m ³)		抗剪强度			
			内聚力 C (kPa)		内摩擦角 ϕ (°)	
素填土①1	天然	20.0	天然	0	天然	30.0
	饱和	20.3	饱和	0	饱和	28.0
素填土①2	天然	18.5	天然	18.0	天然	14.0
	饱和	18.8	饱和	16.0	饱和	12.0

表 2 滑带物理力学指标(残余剪)建议取值表

滑带土	天然工况		饱和工况	
	内聚力 C (kPa)	内摩擦角 ϕ (°)	内聚力 C (kPa)	内摩擦角 ϕ (°)
填土界面(滑面 1)	12.0	9.0	10.0	8.0
土岩界面(滑面 2)	28.2	14.8	18.9	11.6

2.4 计算结果分析

计算结果为路基滑坡沿滑面(填土界面)在天然工况条件下,滑坡稳定系数为 0.96~1.06,处于欠稳定~稳定状态;在饱和工况下,稳定系数为 0.83~0.91,处于不稳定状态。路基沿潜在滑面(土岩界面)在天然工况下,稳定系数为 1.69~1.87,处于稳定状态;在饱和工况下,稳定系数为 1.24~1.30,处于稳定状态,不会沿土岩界面发生滑动。

人类工程活动形成堆填方,为滑坡提供主要物质来源。路面交通荷载激增,使路面下沉加速,变形加快,滑坡体出现剪切裂缝、中部形成拉裂缝及下错滑移变形,下部出现鼓张裂隙,随着裂缝缝宽加大,滑坡后缘及中部将先发生滑动,推动前部发生推移式破坏,滑坡区土体沿临空面和软弱面发生滑移。本次滑坡稳定性计算成果与现场调查变形迹象相吻合。

2.5 发展趋势预测

滑坡区域的人类工程活动形成堆填方,为滑坡提供主要物质来源,路面交通荷载激增,使路面下沉加速,变形加快;在降雨作用下土体饱水自重增大,力学强度降低,在暴雨天气下,将会加剧诱发滑坡沿土岩界面和软弱面发生滑移破坏。

3 治理工程设计方案

(1)设计原则:由于滑坡体厚度较大,下滑力大,且公路部分路段落位于滑坡体上。为了保证滑坡体的整体稳定和公路的安全稳定,治理思路是结合对现状公路的支挡防护措施对滑坡进行综合治理。

(2)治理方案:

①在陡坡路堤滑坡段外侧增设一排 1.5m×2.0m 埋入式抗滑桩,桩间距 4.5m,距离桩顶 3m 位置每 4 根间需设置伸缩缝,桩底部嵌入滑床中风化岩层中,共设置 11 根,预计桩总长 232m。抗滑桩采用人工挖孔工艺,施工时务必跳桩开挖,边挖边做好护壁措施。

②疏通滑坡周边排水。主要增设采用 M7.5 浆砌片石排水沟,具体实施时可结合现场实际地形条件酌情调整。

③鉴于现状路基长期受雨水浸泡软弱,待抗滑桩实施完后对路基采用开挖石渣进行换填处理,换填厚度为路面结构层以下 2m,分层填筑并压实,压实度不小于 94%,抗滑桩墙背采用小型机械进行夯实。

④路面恢复:恢复路面仍采用水泥混凝土路面,结构层设计如下:改性沥青砼 AC-13(C)厚 4cm;粘层油;沥青砼 AC-20(C)厚 6cm;稀浆封层厚 0.6cm;透层油;5.5%水泥稳定级配碎石基层厚 20cm;4%水泥稳定级配碎石底基层厚 20cm;碾压密实路基。

⑤路基防护:滑坡段原防撞波形护栏拆除后重新安装。

⑥生态绿化:鉴于滑坡缘找人工开挖后未得到及时植被恢复,本次设计针对道路滑坡段以上边坡修整后栽种灌木丛覆绿,防止雨水进入滑坡体。

4 结语

由于山区公路建设里程不断增多、规模等级不断扩大,将形成越来越多的陡坡路堤,对陡坡路堤的常见滑移、沉降等病害,可采用截排水、抗滑桩、坡面防护、路面恢复等方法,因地制宜进行综合治理,能取得较好的防治效果。设计、施工、养护等各公路建设参与方应更加重视陡坡路堤可能出现的滑移、沉降等病害,采取有效措施,保障陡坡路堤稳定性和工程质量。

[参考文献]

- [1]史岩飞.浅谈山区公路路基病害原因及治理[J].黑龙江交通科技,2010,12(9):49-50.
 - [2]张永杰.浅谈公路路基边坡病害治理措施[J].科技资讯,2014,12(13):63-64.
 - [3]李自明.某高速公路滑坡稳定性分析评价及防治措施[J].采矿技术,2008,12(8):31-32.
- 作者简介:廖家友(1989-),男(土家族),工程师,研究方向:岩土工程及地质灾害防治。