

膨胀土滑坡稳定性分析及治理措施

——以新汴河徐岗切岭滑坡为例

程堂明

上海海洋地质勘察设计有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i5.16907

[摘要] 以新汴河徐岗切岭滑坡为研究对象,通过现场调查、勘探与试验,查明了滑坡形态特征,分析探讨了滑坡形成机理,运用自然历史分析法和传递系数法从定性和定量两方面对滑坡稳定性进行了评价,在此基础上,提出工程治理措施。结果表明,徐岗切岭滑坡多属中、浅层牵引—推动式膨胀土滑坡,当滑坡体处于饱和时,滑动处于极限平衡状态—局部滑动状态(稳定系数 0.946~1.099),与滑体治理前所处状态和定性评价一致,工程采取了表层防护、降排水处理以及支挡防护等综合处理措施;可供类似工程防治参考。

[关键词] 滑坡; 形态特征; 形成机理; 稳定性; 治理措施

中图分类号: P642.22 文献标识码: A

Stability analysis and control Measures of expansive soil landslides

——Take the Xugangqieling landslide on the Xinbian River as an example

Tangming Cheng

Shanghai Marine Geological Survey And Design Co., LTD, Shanghai, China

[Abstract] Taking Xugang Qinling landslide in the new Bianhe River as the research object, through field investigation, exploration and experiment, the morphological characteristics of the landslide were identified, the formation mechanism of the landslide was analyzed and discussed, and the stability of the landslide was evaluated qualitatively and quantitatively by using natural history analysis and transfer coefficient method. The results show that Xugang Qinling landslide is a shallow and middle-level tractor-push expansive soil landslide. When the slope is saturated, the slide is in the limit equilibrium state — local slide state (stability coefficient 0.946~1.099), which is consistent with the qualitative evaluation. Comprehensive treatment measures such as surface protection, drainage and slope bottom support are adopted. It can be used as reference for prevention and control of similar projects.

[Key words] landslide; morphological characteristics; formation mechanism; stability; treatment measure

引言

徐岗切岭滑坡位于安徽省泗县徐岗村新汴河河道两岸边坡上,岸坡土体主要为第四系高塑性黏性土,该层土具有较强胀缩变形能力(失水收缩、吸水膨胀),其胀缩变形会引发岸坡滑坡地质灾害^[1];新汴河自1970年通航运行以来,两岸边坡发生过3次规模较大的膨胀土滑坡,滑坡土体导致河道堵塞、影响防洪排涝,给当地造成了一定经济损失,亟需采取治理措施。

本文以新汴河徐岗切岭膨胀土滑坡为研究对象,通过现场调查、野外地质勘探以及土工试验等,查明滑坡体的基本形态特征,分析探讨滑坡形成机理,运用自然历史分析法和传递系数法

从定性和定量两方面对滑坡稳定性进行分析评价,并提出治理措施,以期类似滑坡灾害防治工程问题的研究提供参考与借鉴。

1 滑坡区气象与地质条件

1.1 气象

滑坡区属暖温带半湿润性季风气候区,多年平均降水量为774~896mm,年际变化大,丰水年可达1500mm,枯水年不足500mm,年内分配不平衡,6~9月降水量约占全年的60%以上,降水最多的月份是7月,降水最少的月份多在12月。

1.2 地形地貌

表 1 边坡土体膨胀性指标统计表

边坡土体	数值别	含水率	自由膨胀率	膨胀率 (50kPa)	膨胀力	线缩率	体缩率
		$\omega / \%$	$\delta_{ef} / \%$	$\delta_{ep} / \%$	P_e / kPa	$\delta_l / \%$	$\delta_v / \%$
素填土	范围值	27.0~32.2	66.0~82.0	-1.135~-0.175	23.0~45.0	7.40~9.90	20.58~27.62
	平均值	29.9	76.2	-0.776	35.2	8.44	24.45
	样本数	5	5	5	5	5	5
粉质黏土	范围值	26.8~30.1	60.0~90.0	-1.015~0.020	21.0~50.0	5.00~7.85	17.76~23.16
	平均值	28.3	76.2	-0.333	39.3	6.60	20.03
	样本数	7	7	7	7	7	7

滑坡区边坡位于淮北平原东部岗地上,为人工开挖河道边坡,坡向倾向河道,走向近东西向;原河道开挖前,河道中心线所处岗顶呈马鞍型谷底,谷底高程32.4m,两侧岗垅顶部高程35.0~37.0m,相对高差约4.0m;开挖后河道底部高程13.7~14.2m,底宽115m,最大切深18~20m,坡顶堆土厚度6~8m,河道边坡型式为三复式(每6m设一道宽度3m的马道),从上到下坡比分别为1:3、1:2.5与1:2.5,现状坡面水土流失较为严重,有大小不等的冲沟。

1.3 地层岩性

滑坡区揭露的地层主要为第四系人工堆积层(Q_4^1),为素填土(主要成分为黏性土);第四系上更新统冲积层(Q_4^1),为粉质黏土、重粉质壤土;第四系下更新统冲积层(Q_4^1),上部为重壤土、含砾粉质壤土,下部为中、轻壤土;下伏基岩为第三系(N)泥质砂层、砂岩、砂砾岩、泥岩等(为滑床),兼有岩土性质并存的特点。滑坡区上部第四系边坡土体,裂隙极为发育,裂隙间灰白、灰绿色蒙脱石类次生物充填1~2mm,滑腻湿润,具腊状光泽,有时带有条形擦痕,土体失水干缩呈网状,没有一定方向,黏性土因裂隙分割,具有明显的结构性特征。边坡土体膨胀性指标统计表见表1。

由表1可知,边坡土体室内土工试验测得其自由膨胀率为60~90.0%,为膨胀性黏性土,具有弱~中等膨胀潜势,在天然状态下,具有较高的强度,边坡较为稳定,但在干湿交替较为频繁的情况下,上部边坡土体逐渐呈饱和状态或形成地下水出逸点,易降低其稳定性,进而引起边坡失稳破坏。

1.4 水文地质

孔隙潜水与承压水为滑坡区主要地下水类型;其中潜水主要赋存于上部黏性土、壤土中,含水量小,透水性差,为隔水层;承压水主要赋存于下部含泥质砂、砂岩中,透水性好,与新汴河中的水贯通且排水畅通;主要接受降雨与地表水的补给,补给量大小与降雨强度、持续性和灌溉时间长短有直接联系。

2 滑坡形态特征

徐岗切岭河道为人工开挖河道,工程完工后,河道两岸边坡发生过多次中、浅层滑坡,滑坡体顺河道方向宽度45~150m,垂直河道方向长度25~59m,滑坡深度0.2~10m,多数滑坡体前缘滑至主河道内,最远为40m,剪出口高程12.5~20.0m,滑坡整体呈圈椅状,滑坡壁呈台阶状,上部陡,中下部缓,局部呈凹弧状;后

壁长0.2~4.0m、高0.2~8.0m、坡度60~90°,滑壁后侧及两侧大多具有宽度不一的裂缝。滑动面形状基本呈上陡下缓折线形,滑面上附厚1~2cm灰白色细腻软塑状黏性土薄层,含水率大于38%;滑坡体主要物质成分为黏性土,滑坡体总体积约6万方;按滑坡体厚度与力学条件划分,属浅、中层牵引—推动式滑坡。

3 滑坡形成机理

徐岗切岭滑坡形成与边坡土体膨胀性、连续降雨或暴雨、地形地貌以及人类工程活动等内、外部影响因素密切相关;其中,土体膨胀性是滑坡形成的主要内部控制因素,连续降雨或暴雨是滑坡形成的关键外部诱发因素。

3.1 土体膨胀性

边坡土体物质组成主要为具弱~中等膨胀潜势的黏性土,裂隙较为发育,被次生灰白色黏土矿物蒙脱石、伊利石充填,此黏土矿物亲水性强,渗透性低,遇水易软化,易形成软弱结构面,是滑坡形成的主要内部控制因素;同时土体裂隙为地表水提供了渗入通道^[1],使地表水迅速进入土体内,使裂隙附近土体软化,并逐渐向周围扩展,负孔隙压力迅速降低,造成土的抗剪强度降低,从而使土体易沿软弱面滑动^[1-2];裂隙延伸大多在3~4m范围内,较深处土体裂隙偏少,降水后土体的饱和软化主要发生在边坡浅层,滑坡区浅层滑动面多出现在此类土体中。

3.2 连续降雨或暴雨

滑坡区历年6~9月占年降水量60~70%,夏季雨量充沛而引起洪涝灾害,是滑坡形成的关键外部诱发因素。大量连续降雨使土体强度大大降低^[1],同时因土体局部夹次生亲水黏土矿物蒙脱石,遇水饱和后会呈软塑状,形成软弱滑动面;当坡体土体处于饱水时,土体自重增加,下滑力会加大;地下水位抬升,对坡体产生附加孔隙水压力^[1],也可能使边坡滑动性进一步增强。

3.3 地形地貌

新汴河河道设计选定徐岗切岭马鞍型谷底方案,国内外大量资料证实,河道沿低洼沟谷开挖,其边坡土体及裂隙走向、倾角大多倾向河心方向,往往易滑坡,徐岗切岭边坡左岸向阳、右岸背阳,由于风化差异,致使左岸滑坡早,右岸滑坡迟。

3.4 人类工程活动

由于河道开挖,河道两岸坡顶形成以堆填土(高度6~8m)为主的高陡斜坡地带,因堆填土结构较为松散、孔隙较大,当地表水下渗,土体的重量增加,使原地面下产生的附加孔隙水压力迅

速向坡体扩散,进而使裂隙软弱面或即将形成的滑动面上的有效应力降低^[1-2],引起滑坡可能;此外,滑坡区原设计的横向排水沟大多被淤塞,未起到应有的排水作用,草皮护坡被人为破坏等都是造成滑坡的因素。

4 滑坡稳定性评价

4.1 定性评价

首先,从地形地貌分析,现状切岭边坡前缘地形坡度为20~30°,相对较陡且具有临空条件,其次,部分滑坡体由以前处于高位势能,滑至现在低位势能,重心降低,动力减弱(基本减小到较小状态);再次,勘探揭露部分滑动面埋深较大,附近多数土体已硬化固结且较为平缓^[1],特别是前部滑动面倾角多为1~10°,小于滑带原状土天然状态下残剪强度内摩擦角 ϕ_r 最小值14.7°。综合分析认为,滑体经过历史原因滑动,势能低,无滑动空间,基本处于稳定状态;但由于滑坡体上部土体结构较为疏松,原坡体地形地貌被人为的改变,河道清淤疏浚(约0.8m),会加大坡体前缘临空条件,人为引排放地表水,都会增加土体含水量和坡体重量,使土体抗剪强度降低,当受到连续降雨或暴雨和地表水时,长时间土体受水影响,局部坡体内可能会形成软弱带,进一步会产生挤压蠕变变形或产生贯通性软弱面而形成新的滑坡可能。通过勘探发现,部分断面已发现尚未完全贯通的软弱面,已初步形成潜在不稳定滑坡体,但仍处于基本稳定状态,如果不对滑坡体采取坡面防护、排水处理及支挡防护等综合工程治理措施,局部滑坡体进一步发展可能产生失稳^[3]。

4.2 定量评价

(1) 计算参数选择。在土工试验统计结果与反分析法[6-7]基础上,结合类似工程经验,提出饱和状态下滑带土的重度与强度指标,计算参数及稳定性系数见表2。

表2 计算参数及稳定系数

状态	滑带土计算参数			稳定系数 F_s		
	饱和重度 $\gamma_{sat}/(\text{KN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\phi/(\text{°})$	P1-P1'	P2-P2'	P3-P3'
饱和状态下	19.6	6.0	11.0	0.946	0.998	1.099

(2) 计算方法与采用公式。根据徐岗切岭现状边坡断面尺寸、土体空间组成结构可知,滑坡主要沿粉质黏土内部软弱面或与重壤土、泥质砂岩接触面发生的折线型滑动,滑坡区选取3条典型滑坡剖面(P1-P1', P2-P2', P3-P3'),滑坡计算剖面分布见图1,按滑带土处于饱和状态下滑坡稳定性进行计算;以滑坡剖面P2-P2'为例来划分土条进行说明,土条划分示意图见图2,划分计算块段土条主要基于滑带土特性、滑坡与地表形态^[4];对滑带土饱和状态下滑坡稳定性采用传递系数法进行计算,滑坡稳定性系数 F_s 计算公式为:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + T_n}$$

$$\psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_i$$

式中: R_i —作用于第*i*块段滑体的抗滑力 $R_i=W_i \times \cos \theta_i \times \tan \phi_i + c_i l_i$ (kN/m); R_n —作用于第*n*块段滑体的抗滑力 (kN/m); T_i —作用于第*i*块段滑体的下滑力 $T_i=W_i \times \sin \theta_i$ (kN/m),与滑动方向相反时,取负值; T_n —作用于第*n*块段滑体的下滑力 (kN/m); ψ_i —第*i*块段滑体的剩余下滑力传递至第*i*+1块段滑体时传递系数; θ_i 、 l_i —为第*i*块段滑动面的倾角(°)与长度(m); c_i 、 ϕ_i —为第*i*块段滑动带土的黏聚力(kPa)与内摩擦角(°)。

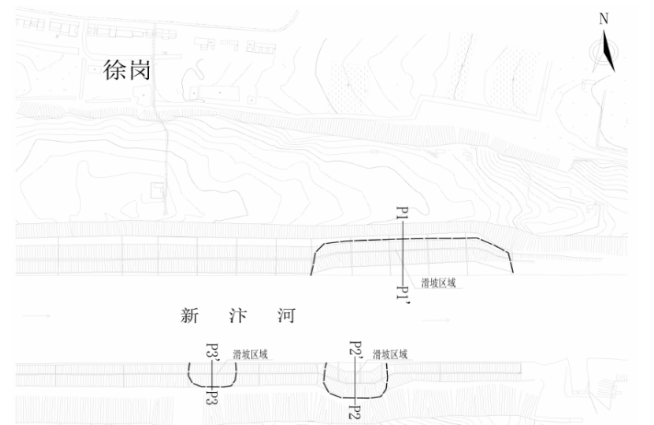


图1 滑坡计算剖面分布图

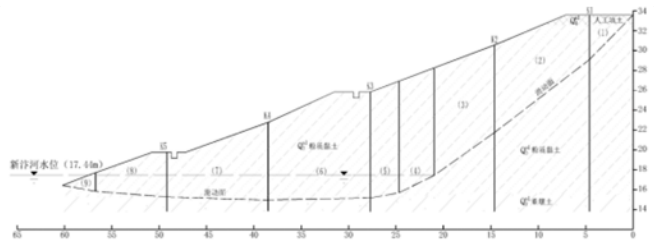


图2 滑坡剖面P2—P2' 土条划分示意图

(3) 计算结果与评价。通过对3条典型剖面进行滑坡稳定性计算,结果见表2,从表2中可以出,当大气降水使滑体与滑带土处于饱和时,稳定系数在0.946~1.099之间,滑动基本处于极限平衡状态—局部滑动状态,与滑体治理前所处状态和定性评价基本一致。

5 治理措施

基于滑坡的形成机理及稳定性分析评价结果,并结合膨胀土边坡土体工程地质特性(主要表现为裂隙性、遇水软化性)等,采取相匹配的治理措施,以期达到综合治理的效果。该切岭段滑坡综合治理措施主要为表层防护、降排水处理与支挡防护三个方面^[5-7]。

(1) 表层防护。表层防护主要目的是阻隔膨胀土土体吸收和蒸发水分,预防裂隙的产生和发展,防止外水入渗,吸收膨胀势能,对河道水位以下边坡还有抗冲作用。治理措施为:换填厚度1~2m非膨胀土+种植草皮。

(2) 降排水处理。降排水处理一方面采取工程措施把土体内

水尽可能排出,降低地下水水位,削弱渗透力,增强土体强度,减小土体吸收软化程度;另一方面通过坡面排水系统尽快导走地表水,减少雨水入渗。治理措施为:降水井(井径0.5~1m、井间距10m)+纵横向坡面排水沟。

(3) 支挡防护。支挡防护既可用于预防膨胀土边坡失稳,又可对已滑边坡进行加固治理;支挡结构型式依据边坡计算推动力与滑动面位置确定,或者基于地形地貌、土体结构与性质、边坡高度、滑动体范围的大小与厚度以及受力条件和危害程度来确定。治理措施为:抗滑桩(梅花形布置2~3排钢筋混凝土钻孔桩、桩径0.8~1.2m、桩间距3~5倍桩径以及桩端深入滑动面以下不少于1/3桩长),支挡防护结构通常结合高边坡卸载、放缓坡度以及其他支挡措施综合使用,才能更加经济安全。

6 结论

徐岗切岭滑坡形态特征为上部陡、中下部缓、前缘隆起的圈椅状,是中、浅层牵引一推动式膨胀土滑坡;土体膨胀性是滑坡形成的主要内部控制因素,连续降雨或暴雨是滑坡形成的关键外部诱发因素。治理措施采取了表层防护、降排水处理及支挡防护等综合方式。

[参考文献]

[1]时红莲,曹明华.石洼沟膨胀土滑坡形成机理及稳定性分析[J].工程地质学报,2007,15(S1):17-21.

[2]王璞.勉县膨胀土滑坡特征及危险性评价方法研究[D].西安:西安科技大学,2011.

[3]吴文龙.驷马山分洪道切岭段膨胀土边坡稳定分析及处理措施[J].低碳世界,2015,(21):267-268.

[4]肖进,许强.倒虹村滑坡形成机制及稳定性分析[J].铁道建筑,2006,(9):58-60.

[5]吴亚子,傅荣华,王健,等.大渡河松坪滑坡形成机制及稳定性分析[J].水土保持研究,2011,18(2):62-65.

[6]许道龙.膨胀土切岭渠坡失稳成因分析和治理对策[J].治淮,2016,(7):34-35.

[7]汪清.江淮沟通段切岭段复合高边坡稳定问题及加固措施[J].云南水力发电,2021,37(3):31-34.

作者简介:

程堂明(1975--),男,汉族,安徽桐城人,本科,工程师,研究方向:主要从事岩土工程勘察设计工作。