

河岸土坡破坏机制及稳定性分析

张莉萍¹, 邱德俊¹, 许宝田²

(1. 南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210000;

2. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210046)

摘要:通过调查发现,天生桥河西侧土坡发生了较大的变形,有发生滑动的可能,该边坡的破坏主要发生在岩体上部的土层中。根据原状土的剪切试验结果,计算得边坡稳定性系数较高,能满足安全性要求。稳定性分析结果表明,该边坡的破坏首先发生在下部的黏性土中的圆弧型破坏,下部失稳后导致上部土体失去侧向支撑而发生变形,最终导致整体性滑动。

关键词:河岸边坡; 破坏机制; 稳定性

中图分类号:TV861

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2019)05-0064-04

Failure mechanism and stability analysis on river bank slope

ZHANG Liping¹, QIU Dejun¹, XU Baotian²

(1. Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210098, Jiangsu;

2. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, Jiangsu)

Abstract: Through investigation, it was found that the soil slope on the west side of the Tianshengqiao River had undergone large deformation and there was a possibility of sliding. The damage of the slope mainly occurred in the soil layer in the upper part of the rock mass. According to the shear test results of undisturbed soil, the calculated slope stability coefficient was high, which could meet the safety requirements. The results of stability analysis showed that the failure of the slope first occurred in the arc damage of the cohesive soil at the bottom, and then the failure at the bottom lead to the deformation of the upper soil due to the loss of lateral support, and finally lead to the overall sliding.

Key words: river bank slope; failure mechanism; stability

1 概况

河岸边坡的一个主要特点是坡外水位易受季节性径流和雨季时大量降雨的影响,在此因素影响下,河流水位出现升、降现象,并引起边坡的水力条件呈现动态变化,从而导致稳定性问题^[1-3]。在河水位变化不大的条件下,边坡稳定性变化虽不明显,但由于水位变化引起土体中应力变化导致的变形问题往往易被大家忽视。

南京市溧水区天生桥河是一条沟通秦淮河流

域和石臼湖流域的人工运河,在天生桥景区内由于坡高、坡陡,加上人工活动较多,形成了一系列的滑坡、崩塌事件,其中在河道西侧覆盖层较厚处发生多次土体滑坡,滑坡前缘宽度约 60 m。主滑方向 140°(向河道方向)。坡高约 16.5 m,轴向长度 70 m,坡度约 15~20°。20 世纪 90 年代,该处发生滑坡后在坡底设置了片石挡墙,2016 年现场调查发现,片石挡墙发生开裂,表明该滑坡复活,滑坡体表面标高低于四周地形,形成典型的“圈椅形”滑坡地貌。由于地处景区,游客、游船较多,必须对其采取

收稿日期:2018-09-06

作者简介:张莉萍(1973—),女,本科,高级工程师,主要从事水利勘查工作。

加固措施。滑体主要土体为粉质黏土及含碎石粉质黏土,岸坡植被较为发育,主要为杂草及杂树。滑坡致使边坡竖向排水沟及坡脚横向排水沟局部错动、开裂、变形。滑坡体略呈圆弧形,滑体厚度约 3~5 m,估计滑动面积约为 1200 m²左右,滑动土石方约 0.4 万 m³,属于小型浅层牵引式滑坡。根据《水利水电工程边坡设计规范》(SL 386-2007)规定,该边坡等级为 2 级,最低安全系数在正常条件下为 1.20,非正常条件下为 1.15。

该滑坡体下部为稳定性较好的西横山组(J_{3x})泥质粉砂岩,故推测滑坡主要发生在上部的粉质黏土层中。本文即以该滑坡为研究对象,对其滑动机制和稳定性问题进行分析,为边坡稳定性评价、滑坡治理和加固结构设计提供依据,也为今后类似滑坡治理工程提供参考。

2 工程地质条件

根据现场调查结合钻探、室内岩土试验、原位测试结果,确定该滑坡处地层岩性主要有以下 3 种类型(边坡工程地质剖面图见图 1)。

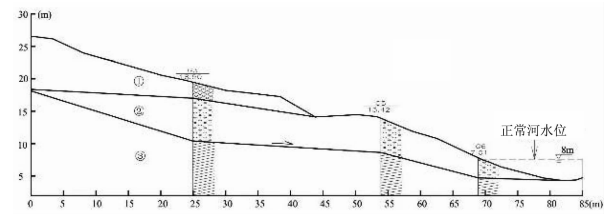


图 1 边坡工程地质剖面图

(1) 杂植土:在坡面局部分布,由粉质黏土混杂大量碎砖块、碎石及少量生活垃圾组成,局部含植物根茎,灰褐色为主。

(2) 含碎石粉质黏土:广泛分布,可塑,局部硬塑。土质较均匀,含少量碎石、砾石、岩屑等。层厚 1.00~5.20 m,顶板埋深 0.00~2.80 m。

(3) 强风化粉砂岩(J_{3x}):棕红色,细粒结构,层状构造,岩芯破碎。母岩结构基本破坏,岩芯采取率约 60%,未见底,工程区广泛露出,为河道底部主要岩体组成。

区内地下水补给来源主要有天生桥河水侧向补给,以及大气降水垂直入渗补给。根据监测资料,天生桥河正常水位为 8.0 m,洪水期最高水位为 11.0 m。由于河道下切至基岩及风化层中,因而天生桥河水与沿岸第四系及基岩裂隙水水力联系密切。丰水期河道水位上涨,场区地下水接受河水补给,枯水期河水低于地下水水位,地下水沿岩石的

节理裂隙向前缘迳流,排入河道。
各土层基本物理、力学参数见表 1。

表 1 岩土力学参数表

层号	含水量 (%)	重度 (kN/m ³)	压缩模量 (MPa)	快剪强度指标 C(kPa)	快剪强度指标 Φ(°)	反复剪强度指标 C(kPa)	反复剪强度指标 Φ(°)
①	25.3	20.0	6.6	29.7	7.7	0	7.7
②	25.3	20.1	9.03	27.0	19.0	3.5	20.4
③	22.0	24.5	4.88	500.0	40.0		

3 滑坡机制定性分析

已有研究成果表明,河岸边坡内部土压力达到主动极限平衡状态,坡顶出现张拉应力,致使坡顶出现张拉裂缝。同时,临河边坡水位升降也是影响河岸边坡稳定性的一个重要因素^[4-6]。从本文所研究边坡的工程地质结构(见图 2)来看,下部基岩强度相对较高,结合边坡变形现状,故推测影响边坡稳定性的主要土层为含碎石粉质黏土层,该层与下伏基岩接触面位于正常水位附近,洪水期则被浸没,加之水位交替变化对其必然产生影响。

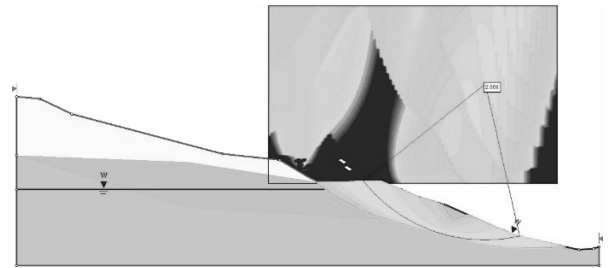


图 2 未扰动土体圆弧型滑面

从地形和坡底片石挡墙破坏情形来看,自前一次治理之后至本次调查期间,边坡发生了变形,虽然没有发生整体性滑动,但土体由于变形其结构或力学性质可能发生变化。根据反复剪切试验结果(见表 1)表明,土体反复剪切后其黏聚力接近为 0,表明发生大变形后土体受扰动,其结构强度相对原状土(未受扰动)快速下降,导致边坡稳定性也降低,具体降低程度需根据稳定性计算结果确定。

故从地质结构和力学性质角度分析,边坡可能发生滑动的机制有两种可能:(1)土体为粘性土,可能发生类均质土体的圆弧型破坏,即滑动面位于土体内部;(2)根据河水位状况,粉质黏土可能沿下伏基岩接触面发生滑动。

上述两种滑动机制均有可能单独或同时发生,具体发生哪种情况,需根据其具体稳定性条件决

定。从地质条件来看,发生沿土—岩界面的折线型滑动可能性更大,但从折线倾角来看,滑体中部折线倾角缓,有利于稳定,接近河边处滑动面倾角大,且受河水影响大。受土—岩界面影响,边坡中部地形平缓,稳定性相对较好,如可能发生圆弧型滑动,则滑动圆柱体更应接近坡底。

4 稳定性计算

计算选用 Slide6.0 专用边坡稳定性计算软件,该软件可以根据设置对所有可能的滑动面的稳定性系数进行计算,计算得稳定性系数最小者即为边坡潜在的滑动面。计算时对考虑不同强度指标条件下两种破坏模式下的稳定性系数分别进行计算:(1)土体强度指标选取直剪指标,代表土体未被扰动,计算时考虑河水位标高为 11.0 m(洪水位状态,安全系数为 1.15),土体中地下水考虑跟河水位持平;(2)土体强度指标选取反复剪指标,代表土体发生变形,结构受扰动,计算时应考虑河水位标高在 8.0 ~ 11.0 m 之间变化。

根据现场情况,确定滑动面出口位于坡脚附近,软件计算时设置较大范围的滑动面入口和出口,搜索得稳定性系数小于 3.0 的所有圆弧型滑动面结果见图 2。折线型滑动面搜索时在第一和最后一条折线处设置不同滑动剪切面可能范围,在剪出口附近设置可能剪切面范围为 $-10^{\circ} \sim 45^{\circ}$ (水平向右为 0° ,逆时针方向旋转 1 周为 360°),在剪出口处设置剪切面范围为 $135^{\circ} \sim 180^{\circ}$,搜索得可能的折线滑面结果见图 3。不同情况下,两种破坏模式各常用计算方法对应边坡稳定性系数值见表 2。

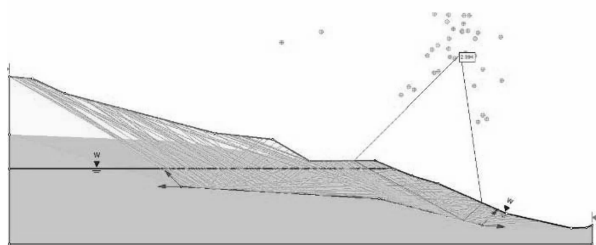


图 3 未扰动土体折线型滑动面

表 2 边坡稳定性系数结果(未扰动)

方法	瑞典条分法	简化 Bishop 法	Janbu 法
圆弧型	2.706	2.068	1.978
折线型	2.394	2.823	2.737

从计算结果来看,在土体未扰动条件下,不管考虑哪种破坏模式,边坡的稳定性系数均较高,满

足安全性要求,表明土体如不受扰动影响,则不会发生失稳情况。

考虑土体受扰动后,采用反复剪强度指标对边坡稳定性进行计算,滑动面搜索条件设置跟前面一致,计算得边坡稳定性系数结果见表 3。结果表明,折线型破坏模式下边坡的稳定性系数偏高,而圆弧型破坏模式对应的稳定性系数则远远低于折线型计算结果,且在考虑水位下降条件下,边坡稳定性系数接近于 1.00,故确定圆弧型破坏的可能性要大于折线型。

根据折线型滑动滑面搜索结果(见图 4),稳定性系数小于 1.15 的滑动面只有 1 条(图中给出稳定性系数对应的破裂面),其余搜索滑动面的稳定性系数均大于 1.15。且稳定性系数最小的滑动面位于土体中,而不是土—岩界面,表明沿着该界面发生滑动的可能性不大,土体最先发生破坏的位置仍是位于土体内部。

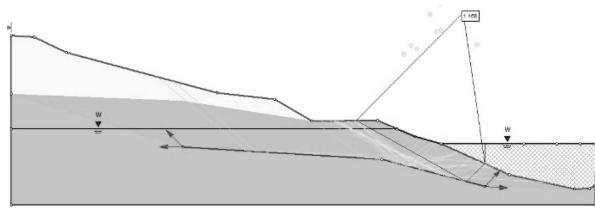


图 4 折线型滑动滑面搜索结果(河水位下降)

为了分析洪水期和正常水位变化对边坡稳定性的影响效果,在考虑河水位变化条件下的稳定性进行计算,由于河水位下降导致河水对坡面的反压效果降低,计算得考虑河水位下降与否时两者稳定性系数相差值接近 0.3 左右,表明河水位的变化(变化值为 3.0 m)对稳定性系数计算结果影响大(见图 5)。

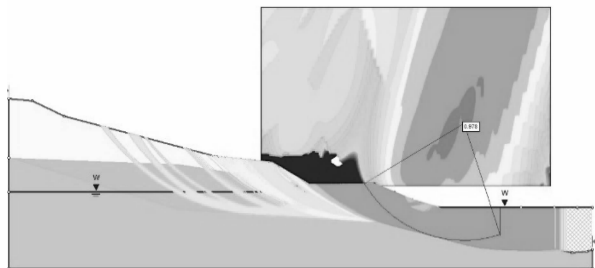


图 5 河水位下降边坡稳定性计算结果
(河水位下降)

通过理论分析不难看出,在河水位长期保持正常水位条件下(标高为 8.0m),土体中的地下水位与河水位接近持平状态,洪水期河水位上升(标高为 11.0m),河水向土体中渗流补给,渗流作用对坡面产生反压,有利于边坡稳定。当土体内、外侧水位接近相同时,内外侧水压平衡。但当河水位下降时,土体中地下水向河道渗流,渗流力作用方向不利于边坡稳定,土体受渗流力作用后易发生变形,且这种变形具有不可逆性。随着河水位变化次数增多,土体的累积变形量也逐渐增大,土体的结构逐渐受到损伤而破坏。

表 3 边坡稳定性系数结果(扰动)

方法	河水位	瑞典条分法	Bishop 法	Janbu 法
圆弧型	水位下降	1.041	1.075	0.978
	洪水	1.355	1.433	1.334
折线型	水位下降	1.075	1.440	1.468
	洪水	1.526	2.073	1.922

稳定性分析结果表明,边坡发生破坏的主要原因是由于土体发生了变形后结构受扰动导致强度降低所致。稳定较差位置位于接近坡底处,该处大部分土体位于水位以下,易发生软化变形,下部土体失稳后,上部土体失去侧向支撑而发生变形。土体破坏面位于土体内部呈圆弧型破坏的可能性较大,但圆弧面位于折线面(土—岩界面)以上,涉及土体范围较小,如果能使下部滑体稳定,则边坡整体稳定性即能得到保证。

在对边坡进行加固设计时,考虑在坡底设置混凝土挡墙,坡面设置混凝土格构梁(横梁和纵梁),在格构梁结点处设置锚杆与格构梁连接,锚杆长度

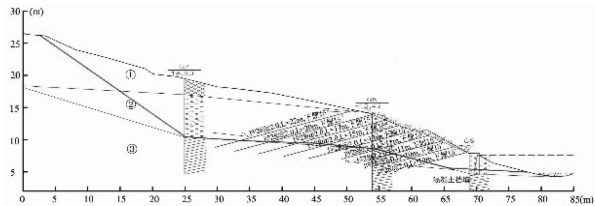


图 6 边坡加固结构示意图

以穿过两种类型滑面达到锚固力要求为准,加固结构剖面图见图 6。根据设计,滑坡治理工程施工于 2018 年 4 月份结束,目前已经过雨季的考验,监测结果表明边坡未发生进一步变形,表明加固措施达到了预期效果,边坡处于安全状态。

5 结论

本次采用极限平衡法对天生桥河覆盖层滑坡的破坏机制和稳定性进行分析,得到有关结论如下:

(1)该边坡滑体主要由基岩面以上覆盖土层组成,滑动的主要原因为河水位反复升降导致土体发生变形后结构强度降低所致。

(2)边坡可能发生的破坏模式有沿着土—岩界面的折线型滑动和位于土体内部的圆弧型滑动两种,稳定性计算结果表明,边坡滑动主要是由于下部发生圆弧型破坏后导致上部失去支撑后变形所致。

(3)采用坡底挡墙和坡面锚杆、格构对下部土体进行加固后可保证边坡整体稳定。

参考文献:

[1] 邓东平,李亮,赵炼恒.河岸边坡稳定性及张裂缝最不利位置研究[J].中南大学学报:自然科学版,2013,44(9):3873-3883.

[2] 马崇武,刘忠玉,苗天德,等.江河水位升降对堤岸边坡稳定性的影响[J].兰州大学学报:自然科学版,2000,36(3):56-60.

[3] 朱朋,卢书强,薛聪聪,等.库水位升降与降雨条件下滑坡的渗流及稳定性分析[J].长江科学院院报,2015,32(11):87-92.

[4] 王曙光,李亮,赵炼恒,等.折线河岸边坡稳定性的研究[J].长江科学院院报,2012,29(2):30-36.

[5] 马建全,王念秦,张新社.基于点稳定系数法的斜坡稳定性分析[J].吉林大学学报:地球科学版,2015,45(2):533-540.

[6] 张均锋,孟祥跃,朱而千.水位变化引起分层边坡滑坡的实验研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(16):2676-2680.