

堤基土体抗滑稳定工程地质评价

李宁新,麻王斌

(中水珠江规划勘测设计有限公司,广东 广州 510611)

摘要:采用系统分析思路,把堤基土体当作一个开放系统加以考察,从查明堤基土体结构入手,合理选取土的抗剪强度参数,综合考虑环境因素,对梧州河西防洪堤某段堤基抗滑稳定问题进行分析,使其评价更为合理。

关键词:堤基抗滑稳定;土体结构;不良土体;工程地质评价

中图分类号:TV223.21 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-9235(2005)03-0044-03

1 堤基土体系统及其抗滑稳定工程地质评价基本思路

1.1 堤基土体系统概述

“土体”是指多种土层构成的组合体,其性质不等于其中某一土层的性质,也不等于各土层性质的简单迭加,而是相互作用、相互影响的有机整体^[1]。这是一种把土体当作一个系统看待的新认识。这里,土体的结构是各种土层的特定组合关系,是以土层为单元的宏观结构,区别于以土粒为单元的土的微观结构和以纹层为单元的中观结构。

根据一般系统论原理,控制系统功能的三要素是:单元(或称元素)的性质、系统的结构和环境的影响,三者对不同系统功能的控制程度不同;复杂系统的功能更多地受结构控制。对堤基土体系统而言,控制堤基稳定性的三要素分别是,土层的物理力学性质、土体的结构及环境的影响。显然,均质堤基的稳定性主要取决于土层的物理力学性质;非均质堤基的稳定性则由土体结构控制;环境因素多起诱发或累积作用,对堤基动态稳定常起控制作用。

文献^[1]从堤基抗滑稳定角度,将堤基分为均质和非均质两大类,前者以土质控制堤基稳定,后者以土体结构控制。详细分类见表 1。

“不良土体”是指具不利结构的土体。对堤基抗滑稳定不利的结构主要是土体中具有不利产状的软弱夹层、弱抗冲层及硬卧(阻水)层。显然,不良土质及不良土体是研究堤基抗滑稳定问题的主要对象。且后者不易查明,更具危险性。

1.2 堤基土体抗滑稳定工程地质评价基本思路^[1]

把堤基土体当作一个开放系统加以考察,首先从查明堤基地质结构模型入手,再深入分析土的物理力学性质,综合考虑环境因素,最后对堤基抗滑稳定问题作出全面的工程地质评价。

1.2.1 堤基地质模型的建立

表 1 堤基结构分类表

堤基分类	亚类	堤基类型	堤基稳定问题
均质堤基	一般土质	一般均质	一般不存在
	不良土质	软土	施工期稳定问题
		膨胀土	长期稳定问题
非均质堤基	一般土体	一般非均质	一般不存在
	不良土体	具软弱夹层	夹层控制堤基稳定
		具软抗冲层	冲刷危及堤基稳定
		具硬卧(阻水)层	

堤基地质模型即堤基地质结构类型或堤基土体结构类型,是堤基抗滑稳定分析的基础。不同结构堤基抗滑稳定性不同,控制因素不同,适用的计算方法及相应的计算参数均可能有所不同。对不良土体堤基,土体不利结构直接控制堤基的抗滑稳定性。因此,查明土体的不利结构是堤基抗滑稳定分析的前提,应作为堤基勘察的重点。

1.2.2 土的抗剪强度参数选取

地质模型建立之后,土的抗剪强度参数成为定量评价堤基抗滑稳定的关键。不良土体结构特殊,各土层对堤基稳定性的影响程度不一,各土层抗剪强度参数选取将有所区别。重点应加强软弱夹层或软弱接触带的抗剪强度参数分析。

1.2.3 不利环境影响

堤基土体为一开放系统,外受河道和复杂多变的水流影响,内为人类生产或生活场所,各种人为干扰影响很大。因此,堤基稳定问题不仅要解决假定边界条件下的静态稳定问题,还必须重视不利环境影响下的动态稳定问题。虽然动态稳定定量预测尚难于实现,但加强定性分析既必要,也可行。

厚层黏性土堤基易被视为均质堤基,土体结构易被忽视,常导致堤基抗滑稳定分析模型参数失真,计算结果不合理。本文以梧州河西堤某段为例,运用土体结构控制的观

点,对堤基抗滑稳定做出综合分析。

2 梧州河西堤某段堤基抗滑稳定工程地质评价

2.1 工程地质条件

2.1.1 地形地貌

该堤段全长 1 510 m,设计为土堤,设计堤顶高程 28.5 m,堤高一般 5 m 左右。堤基全部座落于浔江一级阶地之上,地面高程 23.5 m。堤身填土主要由黏土及粉质黏土组成,夹少量粉砂岩风化碎块,经机械压实。堤前岸坡已发现因河水冲刷而产生的坍岸现象。

2.1.2 堤基土层结构

该堤段堤基土共计 6 层,自上而下依次为:

①人工填土。断续分布于堤基表层,层厚 1.1~1.5 m,主要为素填土,棕褐色,浅黄色,主要由粉质黏土和花岗岩风化土组成,未经压密,透水性中等偏弱,注水试验,渗透系数 $k = 10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。

②粉质黏土。棕褐色、浅灰黄色,成份以粉粒为主,含少量有机质及粉砂质,软塑~可塑状。微层理发育,含水量较高,渗透系数平均值 $k = 1.34 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,力学强度较低。连续分布,层厚 1.6~4.9 m,顶板高程 23.49~24.86 m。

③黏土。褐黄色、浅黄色,成份以黏粒为主,可塑~硬塑状,透水性弱,渗透系数 $k = 16 \times 10^{-8} \sim 3.5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。连续分布,层厚 7.1~11.7 m,顶板高程 18.6~21.89 m。

④粉质黏土。灰色,成份以粉粒为主,次为黏粒,饱和,软塑状,含水量高,透水性弱,力学强度较低。连续分布,厚 7.3~10.9 m,顶板高程 8.54~11.50 m。

⑤含泥砂砾卵石。黄色、灰色、紫红等杂色,成份以卵石为主,稍密~中密,厚 0.2 m。仅在个别钻孔深部发现。

⑥全风化花岗岩。灰白夹灰绿色,岩芯成土柱状。连续分布,顶板高程 0.4~1.69 m。钻孔未揭穿该层。

2.1.3 水文地质条件

该堤段位于浔江一级阶地前缘岸坡及河漫滩上,地下水主要为孔隙水,次为裂隙水及少量上层滞水。孔隙水主要赋存于第四系松散堆积层中;裂隙水埋藏于下伏基岩花岗岩裂隙中;上层滞水零星分布于人工填土和第四系黏性土中,均受大气降水补给,且向河流排泄。

最新勘察成果表明,②层粉质黏土为新近沉积层,结构稍松,液性指数较大,在浅部(2~3 m)已有 $I_L = 0.33 \sim 0.67$,渗透系数较大,其平均值 $k = 1.34 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$;而下伏③层黏土属早期沉积,结构较密实,除靠近顶部(孔深 6~7 m) I_L 较大(>0.5)外,一般 $I_L < 0.3$,且渗透系数普遍较小,平均值 $k = 1.74 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。这种上、下两层渗透性差异较大的土层组合结构,由于下部③层微透水层的阻隔,地下水多汇集于⑧层顶部(亦即②层的底部),调查发现岸坡地下水出露点高悬于勘探期河水位以上 5~6 m 的半坡中。

2.1.4 不良地质现象

前期勘察资料表明,本段河岸曾发生 5 处滑坡。滑坡体产生于岸坡中部,垂直滑向河床,滑坡后缘线均呈弧形,滑坡

体厚度一般均小于 6 m,属浅层滑坡。

浅层滑坡实质是天然河岸的局部岸坡失稳,构成滑坡体的地层均以第四系冲积②粉质黏土为主,中上部有多处地下水冒出。

2.2 天然岸坡稳定问题分析

由于土堤的②层粉质黏土为天然地基,岸坡的稳定直接影响土堤的稳定,尤其是岸坡的深层抗滑稳定问题,对土堤的整体稳定起控制作用。

野外调查天然岸坡失稳均为浅层滑坡,但前期报告稳定验算选用的计算模型未考虑特殊的岸坡土体结构,把②、③层合并为③层考虑,且选用较低的抗剪强度参数。自动搜索计算结果:岸坡整体稳定安全系数 $K = 0.89$,且滑面切入河床底④层,与本段岸坡状态整体稳定现状明显不符。计算结果见表 2。

2.2.1 岸坡不良土体结构

本次勘察揭露,本段堤防堤前岸坡主要由三大层构成,即:②新近沉积的粉质黏土,③早期沉积的黏土及④灰色粉质黏土,其中②、③层(前期勘察合并为第③层)构成岸坡中上部主体,第④层深埋于 15~20 m 以下。需强调的是,本次勘察发现,第②层与第③层土的性状差异明显,主要体现在稠度状态及渗透性上,不能合并。第②层粉质黏土渗透系数平均值 $k = 1.34 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,而其下伏第③层渗透系数平均值 $k = 1.74 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$,二者相差达 100 倍。第③层成为第②层的阻水层,以致地下水极易汇集于②、③之间,由此形成②、③层之间的饱水接触地带。岸坡水文地质调查证实,岸坡中上部常见地下水呈下降泉流出或形成大片湿地。此外,横剖面勘察成果反映第③层顶面起伏较明显。因此,综合上述土体结构分析可见,本堤段的浅层滑坡主要受控制于②、③层接触带。如果恢复为未修护坡之前的原始地形,岸坡上(②层)陡(坎高 5~7 m)下(③层)缓(约 20°),岸坡中上部沿②、③层接触带稳定性差($K = 0.8 \sim 0.96$),与浅层滑坡发育情况吻合,若再遇第③层顶面起伏影响而出现向河一侧倾斜产出,沿②、③层接触带的浅层滑坡更易发生。

图 1 堤基土体结构示意图

可见,本堤段滑坡形成的主要控制因素是本段特殊的岸坡土体结构,即第②层相对属偏强透水的新近沉积与下伏第③层微透水早期沉积黏土层的不利组合。

2.2.2 土的抗剪强度参数选取

由于③层硬卧层顶板的阻水、滞水作用,与上覆②层土体底部一起,长期饱水软化,形成一定厚度的软弱饱水接触带。分别对②、③层抗剪强度参数统计后取小值平均值,可能就是“接触带”的强度指标。据此计算,在硬卧层下再出现软层时(见图1),软件自动搜索的计算结果,滑弧将穿越硬层,深入软层,这与现场滑坡调查结果均为浅层滑坡不符。因此,硬卧层的抗剪强度指标应剔除顶板附近低值后再统

计。这种情况下,“接触带”才是危险滑面,应有针对它的取样试验,否则可考虑以②层或③层抗剪强度参数最小值为代表。

综合分析已有抗剪强度试验指标,针对“接触带”的取样试验少,取第②层最小值作为“接触带”指标,其余土层取平均值(取值详见表2)。

表2 堤基抗滑稳定计算成果表

工况 编号	土体 结构	分层土 抗剪强度	滑面或最危 险滑面位置	最小安全 系数 K	抗剪强 度取值
修坡后天然岸坡	③黏土	$c = 10 \text{ kPa}, \phi = 10^\circ$	③层底部	0.887	初设 成果
	④灰色粉质黏土	$c = 10 \text{ kPa}, \phi = 12^\circ$			
	②粉质黏土	$c = 19 \text{ kPa}, \phi = 7.2^\circ$	切入河床④层	1.56	最小值 平均值
	③黏土	$c = 53 \text{ kPa}, \phi = 13.3^\circ$			
	④灰色粉质黏土	$c = 30 \text{ kPa}, \phi = 12^\circ$	沿②'层	2.11	最小值 最小值
	②粉质黏土	$c = 19 \text{ kPa}, \phi = 7.2^\circ$			
	②'软弱接触带	$c = 8.5 \text{ kPa}, \phi = 11.1^\circ$	切入④层	1.58	平均值 平均值
	③黏土	$c = 53 \text{ kPa}, \phi = 13.3^\circ$			
	④灰色粉质黏土	$c = 30 \text{ kPa}, \phi = 12^\circ$	沿②'层	1.71	平均值 最小值
	①土堤	$c = 25 \text{ kPa}, \phi = 15^\circ$			
筑堤加载施工期	②粉质黏土	$c = 19 \text{ kPa}, \phi = 7.2^\circ$	切入④层	1.495	最小值 平均值
	②'软弱接触带	$c = 8.5 \text{ kPa}, \phi = 11.1^\circ$			
	③黏土	$c = 53 \text{ kPa}, \phi = 13.3^\circ$	沿②'层	1.667	平均值 同上
	④灰色粉质黏土	$c = 30 \text{ kPa}, \phi = 12^\circ$			
	①、②、③、④同上但 ②'倾向坡外 5°	同上			

2.2.3 堤外水流条件变化

由于本堤段上游段地处冲刷河段,新建堤防缩窄行洪断面,岸坡的抗冲稳定直接影响岸坡乃至堤基抗滑稳定性。若不考虑岸坡坡脚采取护岸措施,计算水位降落期岸坡整体稳定安全系数为 $K = 1.09$,说明在水位降落期的稳定性已进入临界状态,因此,岸坡坡脚采取护岸措施是必要和合理的。

2.2.4 堤基抗滑稳定工程地质评价

对本堤段堤基及岸坡现状稳定性进行计算分析,计算简图见图1,计算成果见表2。分析表2可知,经修坡、护岸后,无论是天然状态,还是土堤加载的情况下,堤基岸坡中上部土体稳定性较好, $K \geq 1.71$;即使遇接触带向河倾(5°)时,沿接触带抗滑安全系数 $K = 1.67$,仍处于稳定状态。在未考虑抛石护坡及抗滑齿槽作用时,堤基岸坡整体稳定性良好(最不利滑弧切入④层, $K = 1.56$),土堤加载情况下,施工期稳定性仍较好($K = 1.495$)。经竣工后现场复查,除岸坡中上部(地下水出渗处)因局部潮湿而变形稍大外,堤基岸坡整体稳定性良好。

3 结论

a) 对不良土体堤基,土体不利结构直接控制堤基的抗滑

稳定性。不良土体堤基抗滑稳定问题评价,从查明堤基地质结构入手,深入分析土的物理力学性质,综合考虑环境因素,可以得出更为合理的评价。

b) 梧州市河西堤某岸坡滑坡形成的主要控制因素是本段特殊的岸坡土体结构。经修坡、护岸后,无论是天然状态,还是土堤加载的情况下,堤基岸坡整体稳定性良好。初步计算表明,在水位降落期的稳定性已进入临界状态,岸坡坡脚采取护岸措施是合理的。

c) 前期勘察成果,理论计算结果和现场实际情况不统一。通过引用堤基土体系统理论,对土体结构进行分析,综合考虑土体物理力学性能、土体结构及环境三大要素的影响,校正了前期成果,得出了较为合理的计算结果和评价结论,并得到了实践的检验。

参考文献:

- [1] 李广城,司富安,杜忠信,等.堤防工程地质勘察与评价[M].北京:中国水利水电出版社,2003,88-95.

(责任编辑:李洁莉)