

某护岸工程整体稳定性验算分析

魏军扬¹, 张静华², 郑澄锋³

(1.中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200000; 2.南京水利科学研究所 岩土工程研究所, 江苏 南京 210024;
3.江苏天健工程管理咨询有限公司, 江苏 南通 226007)

摘要: 护岸工程的整体稳定性对护岸工程质量起决定性作用。文中对某护岸工程的稳定性进行验算分析, 得出该护岸的整体稳定性满足要求, 但其安全系数, 使用工况大于地震工况, 地震工况大于施工工况。施工过程中需格外注意并加强护岸构筑物的抗滑能力, 同时加强临河护岸的防冲刷性能, 增强护岸的稳定性。

关键词: 公路; 护岸工程; 整体稳定性; 施工工况; 抗滑; 防冲刷

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)01-0074-03

某护岸工程包括桥梁两侧沿河道两边各 30 m 范围。护岸工程边坡级别为三级, 环境类别为 I 类, 堤防工程级别为三级。护岸形式采用复式护岸, 临河坡度比 1:3, 断面长度 8.68 m, 中间设 4.94 m 平台; 临路侧坡度比 1:1.5, 断面长度 2.4 m。护岸类型为常规浆砌块石护岸, 由于该护岸为一生态公园建设中的部分工程, 考虑到景观要求, 部分护岸也可采用生态景观护岸砌块形式或抗酸碱绿色生态袋护岸形式。该文根据地质勘探资料及规范要求, 参考文献[1-15]对该护岸断面进行稳定性分析验算, 为相关工程计算提供指导和借鉴。

1 土层物理力学性质

经野外钻探、原位测试及室内土工试验, 测得各层土的物理力学指标和原位测试数据, 其中计算所需部分物理力学性质指标见表 1。

表 1 地基土承载力建议值

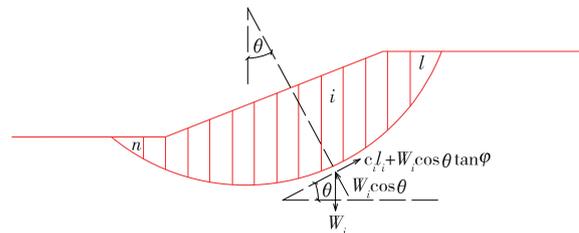
层序	土层名称	重度/ (kN·m ⁻³)	剪切强度(固快)	
			黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)
1	黄~灰黄色 粉质黏土	18.7	10.6	20.3
	灰色淤泥质 粉质黏土			
3 ₁	灰色淤泥 质黏土	19.7	6.8	26.1

2 边坡稳定性验算方法

2.1 计算公式

根据 GB 50286—2013《堤防工程设计规范》, 该

护岸稳定性验算采用瑞典圆弧法(见图 1)。



i 为土条编号; l 为单个土条的滑动面长度(m), $l = b \sec \theta_i$; θ_i 为条块的重力线与通过该条块底面中点半径之间的夹角(度); W_i 为条块重力(kN), 浸润线以上取重度, 以下取饱和重度; c_i 、 φ_i 为土的抗剪强度指标, 分别为黏聚力、内摩擦角, 采用总应力法时取总应力指标, 采用有效应力法时取有效应力指标

图 1 通用方法求安全系数示意图

2.1.1 通用方法(瑞典条分法)

瑞典条分法是条分法中最古老、简单的方法, 该方法由于忽略了条间力的作用, 不能满足所有静力平衡条件, 计算所得安全系数一般比其他较严格的计算方法所得安全系数低。出于对工程边坡稳定安全的保守考量, 中国规范建议土坡稳定性分析采用该方法。该方法适用于使用工况和施工工况。计算公式如下:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i l_i + W_i \cos \theta_i \tan \varphi_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \quad (1)$$

式中: K 为由整个滑体剩余下滑力计算的安全系数。

2.1.2 通用方法(瑞典条分法)考虑地震作用

该方法适用于地震工况。依据 JTG B02—2013《公路工程抗震规范》, 该工程建筑场地类别为 III 类, 抗震设防烈度为 VII 度, 可不用考虑竖向地震作用, 只

需考虑水平向地震作用。水平地震力为:

$$E_{si} = C_i C_z K_h \phi_{iW} W_i \quad (2)$$

式中: E_{si} 为作用于第*i*个土条的水平地震力(kN); C_i 为重要性修正系数; C_z 为综合影响系数,一般取0.25; K_h 为水平地震系数,取0.1; ϕ_{iW} 为水平地震荷载沿墙高的分布系数,该工程水平加速度类型为矩形, ϕ_{iW} 取1.0; W_i 为第*i*个土条的重力(kN),有地下水时包括地下水的重力。

水平地震力对抗滑力的贡献(分子)为:

$$\Delta T_i = -E_{si} \sin \theta_i \operatorname{tg} \varphi_i \quad (3)$$

式中: ΔT 为水平地震力对滑弧的抗滑作用(kN),作用方向为滑动反方向。

水平地震力(作用于土条质心处)对下滑力的贡献(分母)为:

$$\Delta P_i = \frac{M_{ci}}{R} \quad (4)$$

$$M_{ci} = \frac{E_{si}}{y_c - y_E} \quad (5)$$

式中: ΔP 为水平地震力对滑弧的下滑作用(kN),作用方向为滑动方向; M_c 为地震力矩(kN·m); R 为滑弧半径; y_c 为圆心的*y*坐标(m); y_E 为地震力作用位置的*y*坐标(m)。

该工程在水平地震作用下的安全稳定系数为:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i l_i + (W_i \cos \theta_i - E_{si} \sin \theta_i) \tan \varphi_i]}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i + M_{ci}/R)} \quad (6)$$

2.2 计算说明

边坡整体稳定性计算方法采用瑞典条分法,选择所有护岸类型进行验算。使用工况和地震工况,按圆弧滑动面计算。根据地质资料,河道两岸地层起伏较平缓,选择一个最不利地质断面进行计算;坡顶超载按5 kN/m计算。假设坡脚标高为零,各工况组合标高见表2。

表 4 土层信息

层号	层厚/ m	重度/ (kN·m ⁻³)	饱和重度/ (kN·m ⁻³)	黏结强 度/kPa	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/(°)	水下黏聚 力/kPa	水下内摩擦 角/(°)
上部 1	4.5	18.7	19.3	120.0	10.6	20.3	10.6	15.0
下部 1	1.0	18.7	19.3	120.0	10.6	20.3	10.6	15.0
下部 2	3.8	19.5	19.7	120.0	5.4	25.3	5.4	20.3
下部 3	17.6	19.7	20.0	120.0	6.8	26.1	6.8	21.1

表 2 工况组合

工况	坡脚水位/ m	坡顶水位/ m	坡顶荷载/ (kN·m ⁻²)
施工工况	+0.0	+3.5	5.0
使用工况	+2.5	+4.0	5.0
地震工况	+2.5	+4.0	0.0

3 护岸边坡稳定性验算过程

3.1 施工工况验算

施工工况下稳定性验算计算模型见图2。

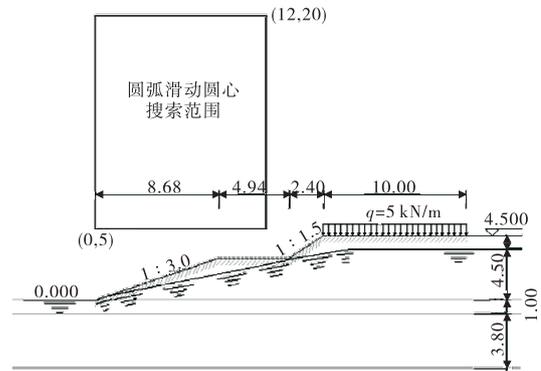


图 2 施工工况计算模型(单位:m)

采用通用方法即瑞典条分法,滑裂面形状采用圆弧滑动法,暂时不考虑振动作用。计算目标为安全系数,指定圆心范围搜索最危险滑裂面。坡面信息见表3,土层信息见表4。水面信息采用总应力法,考虑渗透力作用,不考虑边坡外侧静水压力。土条重切向分力与滑动方向反向时,当下滑力对待;条分法的土条宽度为0.5 m;搜索范围最小为X=0.0 m、Y=5.0 m,最大为X=12.0 m、Y=20.0 m;搜索

表 3 坡面信息

坡面线号	水平投影/m	竖直投影/m	超载数
1	8.683	2.900	0
2	4.939	0.000	0
3	2.398	1.599	0
4	10.000	0.000	1

注:超载1,距离0.010 m,宽10.000 m,均布荷载5.00 kPa,方向为竖直向下。

时圆心步长为 0.5 m,半径步长为 0.5 m。以坡脚处为坐标原点($X=0, Y=0$)。

根据式(1)计算,施工工况下边坡稳定安全系数 $K=686.357/404.848=1.695$ 。

若以计算模型坡脚为原点,最不利滑动面滑动圆心坐标为(6.50 m, 12.26 m),滑动半径=15.161 m。根据 GB 50286—2013,施工工况下允许最小安全系数为 1.10,而计算结果为 1.695,该工程施工工况下稳定性满足要求。

3.2 使用工况验算

使用工况计算模型、控制参数、坡面信息、土层信息、水面信息、计算条件等与施工工况相似,验算过程也基本相同。使用工况下边坡稳定安全系数 $K=661.887/329.769=2.007$ 。若以计算模型坡脚为原点,最不利滑动面滑动圆心坐标为(7.38 m, 14.26 m),滑动半径=16.634 m。根据 GB 50286—2013,使用工况下允许最小安全系数为 1.20,而计算结果为 2.007,该工程使用工况下稳定性满足要求。

3.3 地震工况验算

地震工况计算模型、控制参数、坡面信息、土层信息、水面信息、计算条件等与施工工况相似,主要区别为考虑地震作用。地震烈度 7 度,水平地震系数 0.100,地震作用综合系数 0.250,地震作用重要性系数 1.000,地震力作用位置为质心处,水平加速度分布类型为矩形。验算过程与施工工况基本相同。根据式(6),地震工况下边坡稳定安全系数 $K=666.489/349.448=1.907$ 。若以计算模型坡脚为原点,最不利滑动面滑动圆心坐标为(7.14 m, 14.36 m),滑动半径=16.821 m。根据 GB 50286—2013,地震工况下允许最小安全系数为 1.05,而计算结果为 1.907,该工程地震工况下稳定性满足要求。

各工况下该工程稳定性验算结果见表 5。

表 5 河道边坡整体稳定性计算结果

计算工况	安全系数 K		滑动力 /kN	抗滑力/ kN
	规范允许 最小值	计算值		
施工工况	1.10	1.695	404.848	686.357
使用工况	1.20	2.007	329.769	661.887
地震工况	1.05	1.907	349.448	666.489

4 结论

(1) 按照设计断面的放坡坡率进行护岸,施工工况、使用工况、地震工况下护岸的整体稳定性系数

均满足规范要求。

(2) 安全系数使用工况大于地震工况,地震工况大于施工工况,施工中需加强护岸挡墙等构筑物的抗滑能力,如在一些挡墙下部增设抗滑凸隼,甚至可增设方桩等,以增强护岸的稳定性。在保证护岸稳定性的前提下,加强临河护岸的防冲刷性能。建议护岸类型除采用常规浆砌块石护岸外,也可采用生态景观护岸砌块形式或抗酸碱绿色生态袋护岸形式,以获得更好的生态景观效果。

参考文献:

- [1] 陈仲颐,周景星,王洪瑾.土力学[M].北京:清华大学出版社,1994.
- [2] 铁道部第一勘测设计院.铁路工程设计技术手册:路基[M].北京:中国铁道出版社,1995.
- [3] 交通部第二公路勘察设计院.公路设计手册:路基[M].2版.北京:人民交通出版社,1997.
- [4] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [5] 水利部水利水电规划设计总院.堤防工程设计规范:GB 50286—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [6] 中交水运规划设计院有限公司.水运工程抗震设计规范:JTS 146—2012[S].北京:人民交通出版社,2012.
- [7] 龚晓南.土工计算机分析[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [8] 陈祖煜.土质边坡稳定分析:原理·方法·程序[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [9] 中国水电顾问集团西北勘测设计研究院,中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院.水电水利工程边坡设计规范:DL/T 5353—2006[S].北京:中华人民共和国国家发展与改革委,2006.
- [10] 黄河勘测规划设计有限公司.水利水电工程边坡设计规范:SL 386—2007[S].北京:中华人民共和国水利部,2007.
- [11] 蔡敏.某省道边坡稳定性分析与防护设计[J].公路与汽运,2019(6):63—65+69.
- [12] 王友顺.生态防护技术在公路边坡工程中的应用研究[J].公路与汽运,2017(5):123—126.
- [13] 张贵金,宋伟,何学春,等.[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2021,18(4):32—43.
- [14] 龚啸.含软弱夹层岩质高边坡稳定性影响因素分析[J].公路与汽运,2020(6):85—89.
- [15] 张永杰,马文琪,罗伟庭,等.基于经验强度准则的岩体力学参数敏感性分析[J].交通科学与工程,2020,36(3):1—7.