

青岛市崂山区北九水滑坡稳定性评价

黄锐, 陈勇 (同济大学地下建筑与工程系, 上海 200092)

摘要 通过对青岛市崂山区北九水滑坡的工程现场地质调查, 根据收集的各种地质资料及岩土勘察数据, 在定性分析的基础上, 采用《岩土工程勘察规范》中的折线型滑动面的推力传递系数法, 通过定量计算对青岛市崂山北九水滑坡的稳定性进行了评价。结果表明, 北九水滑坡在天然状态条件下于稳定状态, 暴雨状态下处于不稳定状态。

关键词 滑坡; 稳定性评价; 系数传递法

中图分类号 S181.3; TU411.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)33-11816-03

青岛市崂山区北九水滑坡位于北宅街道办事处我乐社区东南, 白沙河东岸, 其上方为北九水风景区售票处及进出景区的公路, 该区处于地质灾害易发区。地质灾害一旦发生, 将会给当地居民和过往车辆及游客造成严重威胁。因此, 针对崂山区北宅街道办事处北九水滑坡目前存在的问题, 对其进行地质灾害治理是十分迫切和必要的。

1 工程地质调查

1.1 地层特征 覆盖层主要为第四系全新统坡洪积层 (Q_4^{al+pl}), 以砾石、砂土、岩屑及大量漂石为主 (约占 60%), 稍密, 厚度大, 均匀性较差。回填固结时间约 200 年。该层在拟建场地范围内分布广泛, 揭露厚度 1.20~18.00 m, 平均厚度 10.62 m; 层底埋深 1.20~18.00 m; 层底标高 110.73~136.82 m。

基岩层主要为花岗岩, 浅肉红色, 主要矿物成分为石英、长石。中粗粒结构, 块状构造, 构造节理和风化裂隙不发育。该层在拟建场地分布广泛, 性质稳定。在勘察期间未揭穿该层, 最大揭露厚度 18.50 m。

1.2 地貌特征 北九水滑坡隐患位于白沙河东岸, 属于构造侵蚀河谷岸坡地貌。

滑坡隐患体范围内地形起伏较大, 地面标高 116.66~229.91 m, 西侧被白沙河冲刷切割成高度为 5~13 m 高的陡坡, 坡度 30°~90°不等, 局部大于 90°。滑坡坡体前缘下方为白沙河河道, 河道内为粒径大小不一的卵砾石, 见砾石最大直径 >10 m。坡体上方多为农田, 植被发育。滑坡体东侧为山前坡地, 滑坡体平台为进出崂山北九水风景区的公路, 人

类工程活动强烈。

1.3 滑坡体形态特征 北九水滑坡平面呈上窄下宽的不规则状, 其前缘位于白沙河的东岸, 前缘高程 120.31~127.16 m, 宽度 140 m, 后缘位于山坡上, 最后缘高程为 160.05 m, 宽度 82 m, 滑坡体纵长 25~91 m, 横宽 60~140 m, 平面面积约 7 378.54 m²。滑坡体揭露厚度 1.20~18.00 m, 平均厚度 10.62 m, 根据测算, 滑坡体的体积约 78 360 m³。

1.4 水文地质条件 北九水滑坡总体坡度较陡, 坡体上无大的地表水体分布, 仅零星分布有供农田灌溉用的小蓄水池。地下水类型以第四系孔隙潜水和块状岩类基岩裂隙水为主, 单井涌水量 50~100 m³/d。区内地下水接受大气降水及河流入渗补给。研究期间, 实测稳定水位埋深 2.0~11.0 m, 稳定水位标高 118.33~132.86 m, 平均 127.46 m。根据区域水文地质资料, 研究区地下水位年变化幅度约 2 m。根据注水试验结果确定滑坡体属中等透水-弱透水地层。

1.5 滑坡体物理力学性质 滑体土层天然重度为 19.0 kN/m³, 饱和重度 20.3 kN/m³。天然直接抗剪强度 $c = 10$ kPa, $\phi = 35^\circ$, 饱和直接抗剪强度 $c = 8$ kPa, $\phi = 30^\circ$ 。

滑床岩石饱和单轴抗压强度 R_c 标准值为 73.147 MPa, 定量判断为坚硬岩。岩体完整性指数 K_v 按公式计算 $K_v = (V_{pm}/V_{pr})^2 = 0.76$, 定量判断岩体完整程度属于完整。

岩体基本质量指标 $BQ = 90 + 3R_c + 250K_v = 499.441$, 定量判别岩体基本质量级别属 II 级。各岩体工程特性指标建议值见表 1。

表 1 岩体工程特性指标

层号	土层名称	层底标高/m		厚度/m		γ kN/m ³	c kPa	φ / $^\circ$	模量 MPa	fak kPa
		Max	Min	Max	Min					
2	微风化	/	/	18.5	/	27.0	/	70*	12.0 × 10 ³ /E	5 000/fa
2	花岗岩	/	/	/	/	27.0	/	70*	12.0 × 10 ³ /E	5 000/fa

注: Max 为最大值; Min 为最小值; $\bar{\phi}_m$ 为平均值; γ 为重度; c 为粘聚力; φ 为内摩擦角 (“*”为等效内摩擦角); 模量中 E 为弹性模量。

2 滑坡稳定性分析

根据边坡的地形地貌形态、地质条件和滑坡变形破坏的基本规律, 追溯滑坡演变的全过程, 预测滑坡稳定性发展的总趋势及其破坏方式。

2.1 滑坡变形特征及发育史 根据现场调查, 现今活动的迹象主要发生在滑坡体前缘, 主要为一些小规模的滑塌。最近发生的时间为: 2010 年 7 月发生两次小规模的滑塌, 滑塌总方量约 3 m³; 2011 年 6 月 25 日, 在暴雨的冲刷下再次发生小规模的滑塌, 滑塌总方量约 5 m³。另外, 在收费站附近的公路上有 3~4 组裂缝, 裂缝走向 81°~94°。

由此可知该滑坡处于不稳定的状态, 在暴雨及外力震动

基金项目 国家自然科学基金项目(41072203)。
作者简介 黄锐(1989-), 男, 陕西汉中, 硕士研究生, 研究方向: 岩石特性及其本构方程、岩质边坡的稳定性评价。
收稿日期 2014-10-20

作用的影响下,易再次产生滑塌,甚至更大规模的滑坡。

2.2 滑坡类型及变形破坏模式 根据上文可知该滑坡属于二级小型浅层-中层滑坡,变形方式为自前缘向后部牵引-推移式滑塌,对地表破坏主要表现为差异性垂直和水平位移,对地表设施破坏性强。

2.3 滑坡影响因素及成因机制分析 从北九水滑坡产生、发展的过程分析,滑坡体岩土类型、地形地貌、大气降水、外力震动以及河流冲刷是其产生的主导因素。

岩土体类型:厚度较大的第四系坡洪积层的存在,为滑坡的形成提供了物质基础。滑坡区域内,第四系堆积体平均厚度大于 10 m,其岩性以砾、卵石及粘性土为主,这种地层结构为易滑坡地层。

地形地貌:滑坡后部为斜坡,坡度一般 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$,地形坡角条件为滑坡形成与位移提供了条件。

大气降水:该区为温带海洋性气候,降水多集中在 6~9 月,约占全年降水量的 65%~80%,区域内降雨量大且集中,雨水下渗,不但降低土体的抗剪强度,还提高滑体重量,使滑坡体极易产生滑动,降雨尤其是大暴雨,是引发崂山区地质

灾害的主要因素之一。

外力的震动:滑坡体上方即为进出北九水风景区的公路,每天都有很多的车辆、游客及当地村民从此经过,由此产生的震动会对滑坡体的稳定性造成很大的影响。

河流冲刷:滑坡体下方即为白沙河,暴雨期间,在其强烈的冲刷作用下,使坡体前缘形成的临空面高度 5~13 m,易产生滑塌。

研究表明,滑坡体的前缘发生多次小规模滑塌,并且在滑坡体上方前缘收费站处有多组平行于坡体前缘的裂缝,目前未产生过较大规模的滑塌。根据综合情况分析判断,北九水滑坡处于不稳定的状态。

3 定量分析

在前述定性分析的基础上,通过运用极限平衡法——传递系数法,计算滑动面的剩余推力,从而对边坡的稳定性进行定量分析。

3.1 计算剖面 选择对应滑坡主滑方向的 1-1'、2-2' 工程地质剖面进行计算。计算模型见图 1、2。

3.2 计算方法及计算公式 传递系数法最早是在新建宝

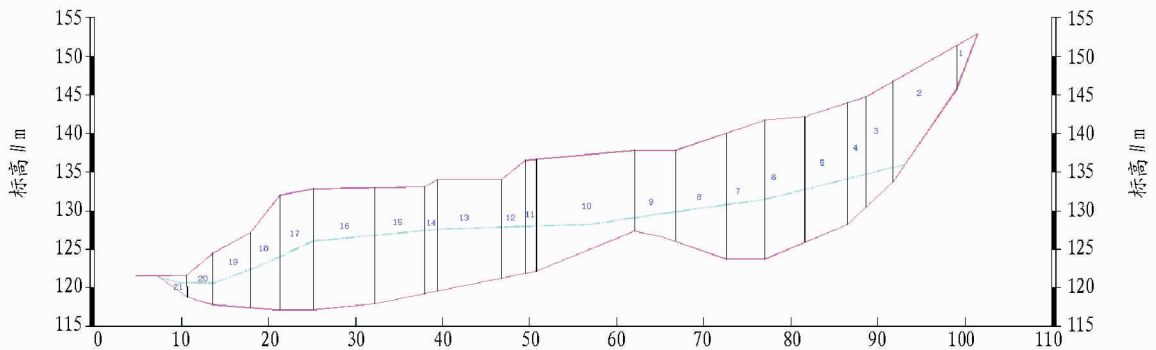


图 1 1-1'剖面滑坡稳定性计算条分示意

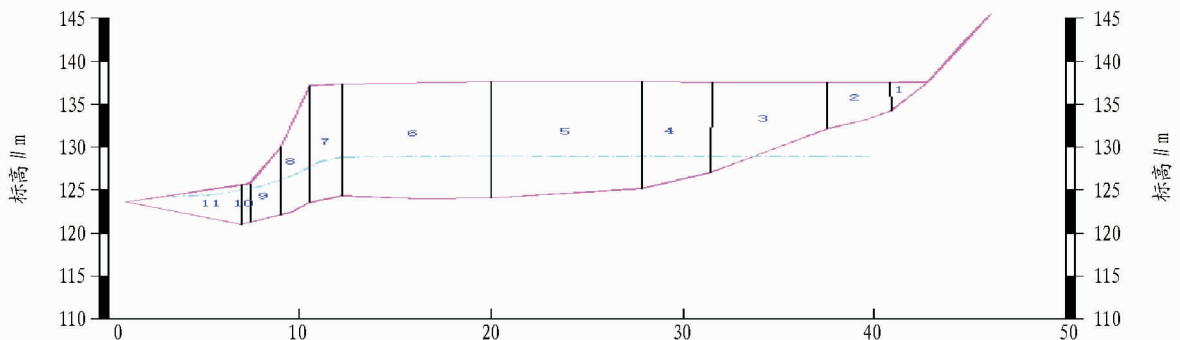


图 2 2-2'剖面滑坡稳定性计算条分示意

鸡—成都铁路时的 1954 年由我国最著名的滑坡专家徐邦栋提出的^[1]。该方法可用于 3 个方面:一是计算稳定系数,判断滑坡处于稳定、不稳定还是极限状态;二是计算滑坡体推力,为滑坡治理设计提供依据;三是用于反分析,反算土的强度指标。除用于反分析外,其他两方面都被列入了规范。根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001),岩土工作人员通

常采用基于极限平衡理论的折线型滑动面的推力传递系数法对滑坡进行稳定性分析及计算^[2]。

用于计算稳定系数方面,1977 年首次列入《工业与民用建筑工程地质勘察规范》(TJ21-77),后列入《岩土工程勘察规范》(GB 50021-94)和 GB 50021-2001 的《条文说明》^[3]。公式的形式是:

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

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

$$\prod_{j=i}^{n-1} \psi_j = \psi_i \times \psi_{i+1} \times \psi_{i+2} \times \dots \times \psi_{n-1}$$

$$R_i = N_i \tan\phi_i + c_i L_i$$

$$T_i = W_i \sin\theta_i$$

$$N_i = W_i \cos\theta_i$$

$$W_i = V_{iu} \gamma + V_{id} \gamma' + F_i$$

式中, F_s 为滑坡稳定性系数; ψ_j 为传递系数, 第 i 条块的剩余下滑力传递至第 $i+1$ 块时的传递系数 ($j=i$); R_i 为作用于第 i 块的抗滑力 (kN/m); T_i 为作用于第 i 条块滑动面上的下滑分力 (kN/m); N_i 为第 i 条块滑动面的法向分力 (kN/m); c_i 为第 i 条块的粘聚力 (kPa); ϕ_i 为第 i 条块的内摩擦角 ($^\circ$); L_i 为第 i 条块滑动面的长度 (m); θ_i 为第 i 条块底面倾角 ($^\circ$), 反倾时取负值; W_i 为第 i 条块自重与建筑等地面荷载之和 (kN/m); γ 为岩土体的天然容重 (kN/m³); γ_{sat} 为岩土体的饱和容重 (kN/m³); F_i 为第 i 条块所受地面荷载 (kN/m)^[4]。

3.3 计算工况 工况一: 自重 + 地表荷载 + 天然状态。工况二: 自重 + 地表荷载 + 20 年一遇暴雨 (连续降雨)。

3.4 计算条件及参数选取 主滑体土中含有约 60% 的砾石、砂土、岩屑及大块漂石, 滑坡体的力学指标根据当地经验值确定。天然状态下粘聚力经验值为 5 kPa, 内摩擦角 35 $^\circ$; 饱和状态粘聚力经验值为 4 kPa, 内摩擦角为 14 $^\circ$ 。

现滑坡体上方为农田、售票亭、公路以及过往的行人车辆, 在稳定性计算分析时地表荷载在建筑范围内按 5 kN/m

取值。

3.5 滑坡稳定性设计标准的确定 滑坡地质灾害危害性等二级, 滑坡剩余下滑力安全系数在暴雨工况最小不得小于 1.15, 据滑坡实际情况, 该滑坡取 1.15。

4 滑坡稳定性综合评价

按照上述计算工况对北九水滑坡稳定性进行了计算, 计算结果如表 2 所示。依据《滑坡防治工程勘查规范》DZ/T0218-2006 规定^[5], 其判别标准见表 3。

滑坡稳定性计算结果表明, 北九水滑坡在天然状态条件下处于稳定状态, 暴雨状态下处于欠稳定状态。

滑坡在天然状态下, 利用 1-1' 剖面, 根据前面的公式, 可计算出主滑面抗剪强度变化对滑坡稳定性影响程度, 结果见表 4。计算结果显示, 当滑带土内聚力 c 值每增加 1 kPa, 滑坡稳定系数提高 0.027~0.029, 当滑面强度内摩擦角 ϕ 值每增加 1 $^\circ$, 滑坡稳定系数提高 0.101~0.126, 表明滑带土内摩擦角 ϕ 的变化对滑坡稳定性影响更为显著。

表 2 滑坡稳定性计算结果

剖面编号	工况	稳定系数	评价结果
1-1'	1	3.441	稳定
	2	1.094	欠稳定
2-2'	1	3.531	稳定
	2	1.107	欠稳定

表 3 滑坡稳定状态划分

滑坡稳定系数 F	滑坡稳定状态	滑坡稳定系数 F	滑坡稳定状态
$F < 1.00$	不稳定	$1.05 \leq F < 1.15$	基本稳定
$1.00 \leq F < 1.05$	欠稳定	$F \geq 1.15$	稳定

表 4 主滑面抗剪强度对滑坡稳定系数影响的敏感性分析

c kPa	$\phi//^\circ$									
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0.943	1.044	1.148	1.254	1.363	1.475	1.59	1.708	1.830	1.956
2	0.970	1.071	1.175	1.282	1.391	1.503	1.618	1.737	1.859	
3	0.997	1.098	1.203	1.310	1.419	1.531	1.647	1.765		
4	1.024	1.125	1.230	1.337	1.447	1.559	1.675			
5	1.051	1.152	1.257	1.365	1.475	1.588				
6	1.078	1.179	1.284	1.393	1.503					
7	1.105	1.206	1.311	1.420						
8	1.132	1.233	1.338							
9	1.159	1.260								
10	1.186									

5 结论

(1) 根据滑坡体的物质组成和结构形式等主要因素可知滑坡类型为堆积层 (土质) 滑坡, 属残坡积层滑坡亚类; 按滑坡体的规模属浅-中层滑坡, 运动形式为牵引式滑坡, 按其发生的原因属自然滑坡, 根据测算, 滑坡体的体积约 78 360 m³, 属小型滑坡地质灾害隐患。

(2) 滑坡稳定性计算结果表明, 北九水滑坡在天然状态条件下处于稳定状态, 暴雨状态下处于不稳定状态。

(3) 滑坡稳定性分析的可靠性, 除计算方法外, 地质条件是否清楚, 参数选用是否适当, 常常更加重要。计算条件与现场条件之间 (包括地质条件和地下水条件), 有时存在很大

差异。无论传递系数法还是别的方法, 必须把条件简化, 包括现场条件的简化和计算条件的简化, 否则无法建立通用的计算方法。因此, 不宜过分依赖计算, 应特别注意定性分析与定量分析相结合, 进行综合分析。

参考文献

[1] 沈尧亮, 侯殿英. 传递系数法的原型与衍生[J]. 工程勘察, 2010, 12(1): 477-486.
 [2] 雷建强. 堆积层滑坡稳定性分析[J]. 城市道桥与防洪, 2012, 2(3): 19-21.
 [3] 顾宝和, 毛尚之. 滑坡稳定性分析传递系数法的讨论[J]. 工程勘察, 2006, 12(3): 8-11.
 [4] 顾宝和, 高大钊, 朱小林, 等. GB 50021-2001, 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
 [5] 中国地质调查局. DZ/T0218-2006, 滑坡防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.