

四川广元王家包滑坡的形成机制及稳定性评价

张丹 赵志伟 李岩
(中兵勘察设计研究院,北京 100053)

【摘要】 王家包滑坡体变形迹象主要以地表变形为主,分布零散,规律性较差。采用定性分析及定量分析的方法对滑坡体稳定性进行了分析计算,王家包滑坡在天然及地震工况下处于稳定状态,在暴雨工况下处于基本稳定状态。对影响滑坡稳定性的主要因素进行了敏感性分析,为滑坡防治提供了依据。

【关键词】 王家包滑坡;成因机制;稳定性分析;敏感性

【中图分类号】 P 642. 22

【文献标识码】 B

doi:10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2010. 01. 005

Study on the Formation Mechanism and Stability of Sichuan Guangyuan Wangjiabao Landslide

Zhang Dan Zhao Zhiwei Li Yan

(China Ordnance Industry Survey, Design & Research Institute Beijing 10053, China)

【Abstract】 Wangjiabao Landslide is located in the northern Sichuan Basin, Guangyuan. The sign of landslide deformation is mainly to surface deformation. In this paper, qualitative analysis and quantitative analysis are used to landslide stability analysis and calculation. The results show that Wangjiabao landslide is stable in natural condition or seismic condition and basically stable in storm condition. Based on the above results, a reliable basis for the prevention and treatment project is provided.

【Key words】 wangjiabao landslide; formation mechanism; stability analysis; sensitivity

0 引言

王家包滑坡位于四川省广元市,地处四川盆地北部。王家包滑坡体纵向长 162 m,宽 112 m,主滑方向约为 169°。

滑坡变形迹象主要以地表变形为主,分布较为零散,规律性较差。滑坡变形始于 2001 年,主要变形迹象为后缘出现裂缝、前缘产生局部错台。

王家包滑坡主要威胁滑坡范围内 18 户、房屋 50 余间和村民 65 人的生命财产安全及农田约 50 亩。

该滑坡造成当地村民无法进行正常的生产生活活动,因此对该滑坡采取防治工程是十分必要的。进行形成机制及稳定性评价是合理制定防治措施的前提。

1 滑坡区地质环境条件

1.1 地形地貌

该滑坡位于王家山南侧斜坡上,地势北西高,南东低,最高处为庙子梁,“5. 12”汶川地震前海拔标高为 1157. 2 m,最低处为滑坡前缘的王家沟河谷,海

拔标高为 885. 4 m,为低山侵蚀堆积地貌。区内地势由庙子梁向南东逐渐下降,至大梁成一逐渐降低的山脊,在由大梁经王家包滑坡至王家沟河谷为高程逐渐降低的阶梯状斜坡。

滑坡区属于台坎相间地貌,后缘为较大面积高陡岩质边坡,有较大汇水面积,滑坡区雨量充沛,为地表水汇集形成了充足补给。

1.2 地层岩性

根据钻探资料揭示,滑坡区出露地层主要为第四系、侏罗系上统莲花口组。

1) 第四系全新统崩坡积层(Q_4^{col+dl}): 粉质粘土夹块碎石土,粉质粘土为黄褐色—灰褐色,湿—稍湿,可塑—硬塑,局部为软塑状。区内广泛分布,厚度随地形地势变化大,一般厚 5~20 m。

2) 侏罗系上统莲花口组(J_3^1): 岩性以砖红色厚层—巨厚层泥质砂岩、砂岩、泥质粉砂岩、砾岩组成,表层风化侵蚀严重,裂隙少量发育,局部可见裂隙水,岩层产状 $160^\circ\sim 177^\circ\angle 11^\circ\sim 17^\circ$,岩层倾向与

滑坡坡向一致,倾角小于坡面倾角。

1.3 地下水

地下水按其赋存特征可分为松散层孔隙水和基岩裂隙水两类。松散层孔隙水主要分布于滑坡区第四系崩坡积物地层中,为粉质粘土,其中含少量块石、碎石及角砾,呈松散混杂或叠置堆积,粒径大小不一,孔隙率较大,溶水度较高,持水度较大,给水性较差。基岩裂隙含水层地表出露面积小,泉流量小,裂隙率 3.2%~7.7%,泉流量 0.01~0.5 L/s,地下水迳流模数为 0.2~0.4 L/s·km²。

2 滑坡地层特征

滑体物质为第四系崩坡积粉质粘土夹块碎石土,粉质粘土为黄褐色—灰褐色,湿—稍湿,可塑—硬塑,局部为软塑状。

滑床为下覆基岩,为侏罗系上统莲花口组砂岩、砾岩强风化层。

3 滑坡成因机制分析

王家包滑坡滑动方向主要受下覆基岩面的控制,主滑方向约为 169°,同时受滑坡前缘天然陡坎影响,向临空面产生局部滑塌。滑坡主要受以下因素影响:滑体物质、地形条件、降雨、人类活动。

1)滑体物质为含块碎石粉质粘土,富含亲水矿物,主体结构在水的长期作用下软化、泥化,抗剪强度降低。

2)地形条件:①滑坡后缘为较大面积高陡岩质边坡,水土保持状态差,已形成向滑坡区汇集的地表径流;②滑坡为台坎相间折线形斜坡,为地表水下渗提供了条件;③滑坡前缘为天然陡斜坡,为滑坡提供了高陡临空面。(见图 1)



图 1 王家包滑坡平面图

3)降雨:水的作用是产生滑坡的主要因素。滑坡区地处四川盆地北部,属亚热带季风气候,年降雨量大。

4)人类活动:近年来,人类建房、筑路等活动加剧,由于不合理的工程开挖,造成坡脚减载,削坡形成垂直临空面等,进一步加剧了滑坡体变形。

4 稳定性计算

4.1 定性分析

王家包滑坡滑体为含大量块碎石粉质粘土,渗透性好,滑坡前缘可见明显的泉水、静水,地下水排泄量稳定;滑带土体呈可塑—硬塑状态, c 、 φ 值较高;后缘裂缝自 2001 年始发后,经历“5.12”汶川大地震后,未见明显发展。地表未见连续裂隙。裂隙多为天然及人工陡坎形成的临空面造成的局部滑塌。

根据上述变形迹象分析,王家包滑坡处于基本稳定—稳定状态。

4.2 定量分析

4.2.1 计算方法

目前关于滑坡稳定性的计算研究,已提出几十种方法,这些方法大致归为三类:一是极限平衡法;二是数值分析法;三是概率法。极限平衡分析法是一种定量方法,也是工程上使用最多、最成熟的方法^[1-5]。

本文应用极限平衡分析传递系数法对王家包滑坡进行了稳定性计算分析。计算型式选用 K/T 型进行。

1)稳定系数 F_s

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

其中:

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

$$N_i = (Q_i + D_i) \cos \theta_i$$

$$T_i = (Q_i + D_i) \sin \theta_i$$

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

2)滑块剩余下滑力计算

$$P_i = P_{i-1} \cdot \psi_i + F_{st} \cdot T_i - R_i \quad (2)$$

式中: F_s 为稳定系数; Q_i 为第 i 段滑体的重力, kN/m; D_i 为第 i 段建筑荷载, kN/m; R_i 为作用于第 i 段的抗滑力, kN/m; N_i 为第 i 段滑动面的法向分力, kN/m; φ_i 为第 i 段土的内摩擦角, ($^\circ$); c_i 为第 i 段土的粘聚力, kPa; L_i 为第 i 段滑动面的长度, m; T_i 为作用于第 i 块段滑动面上的滑动分力, kN/m;

ψ_i 为第 i 块段土的剩余下滑力传递至第 $i+1$ 块段传递系数, ($j=i$); θ_i 为第 i 块段滑动面倾角, ($^\circ$); P_i, P_{i+1} 分别为第 i 块、第 $i+1$ 块滑体剩余下滑力, kN/m ; F_s 为剩余下滑力计算安全稳定系数。

上述基本公式可用于解决: ①计算滑坡推力; ②计算滑坡的稳定性; ③反算滑动面的抗剪强度指标。^[6]

4.2.2 计算工况

滑坡区地处四川盆地, 为降雨量较大区域, 且水的因素为产生滑坡的主要因素, 因此需对暴雨影响下滑坡体稳定性进行分析。

该区域为龙门山断裂带影响区域, 为地震多发区, 因此需对地震影响下滑坡体稳定性进行分析。该地区地震烈度等级为 VII 度, 地震加速度取值 $0.15g$ 。

因此, 分别对天然工况、饱和(暴雨)工况、地震工况下滑坡体稳定性进行计算。(见表 1)

表 1 滑坡各工况稳定性计算

计算工况	主要因素组合
天然工况	土体天然重度+建筑物荷载
饱和(暴雨)工况	土体饱和重度+建筑物荷载
地震工况	土体天然重度+地震力+建筑物荷载

4.2.3 计算参数

1) 计算剖面

选取滑坡 1—1' 剖面作为计算剖面进行稳定性计算。(见图 2)

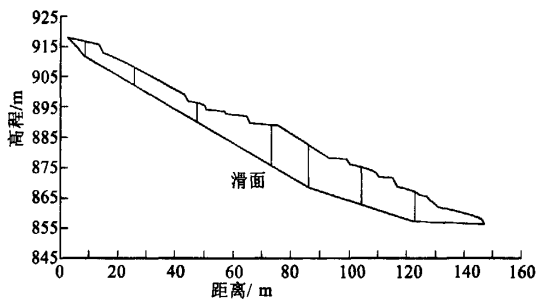


图 2 滑坡稳定性计算剖面(1—1')剖面

2) 计算参数取值

依据岩土试验, 并类比其它工程中参数的取值, 滑坡滑带土参数取值见表 2。

表 2 土体物理力学参数取值表

工 况	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$
天然工况	45.79	17.14	20.1
地震工况			
饱和(暴雨)工况	31.74	12.64	20.6

4.2.4 计算结果

稳定性划分为四级: 稳定系数 $F_s > 1.15$ 为稳定; $1.15 \geq F_s > 1.05$ 基本稳定; $1.05 \geq F_s > 1.0$ 为欠稳定; $F_s < 1.0$ 为不稳定。

稳定性计算结果见表 3, 滑坡体在天然工况下处于稳定状态, 暴雨工况下处于基本稳定状态, 地震工况下处于稳定状态。

表 3 滑坡整体稳定性计算结果统计表

计算工况	1-1' 剖面	
	稳定系数	稳定性
天然工况	1.613	稳定
饱和(暴雨)工况	1.123	基本稳定
地震工况	1.263	稳定

4.2.5 参数敏感性分析

滑坡稳定性计算主要参数为土体重度 γ 、内摩擦角 φ 及粘聚力 c , 对上述参数进行如下敏感性分析。采用传递系数法得到以下状态下滑坡体整体稳定系数。(见表 4、表 5、图 3、图 4、图 5)

表 4 c, φ 值因素敏感性分析(暴雨工况)

粘聚力 c/kPa	稳定系数 F_s						
	$\varphi=12^\circ$	$\varphi=13^\circ$	$\varphi=14^\circ$	$\varphi=15^\circ$	$\varphi=16^\circ$	$\varphi=17^\circ$	$\varphi=18^\circ$
30	1.062	1.109	1.157	1.206	1.255	1.305	1.355
32	1.097	1.145	1.193	1.241	1.290	1.340	1.391
34	1.133	1.180	1.228	1.277	1.326	1.376	1.426
36	1.168	1.215	1.263	1.312	1.361	1.411	1.462
38	1.203	1.251	1.299	1.348	1.397	1.447	1.498
40	1.239	1.286	1.334	1.383	1.432	1.482	1.533
42	1.274	1.322	1.370	1.419	1.468	1.518	1.569
44	1.309	1.357	1.405	1.454	1.503	1.554	1.604
46	1.345	1.392	1.441	1.489	1.539	1.589	1.640

表 5 土体重度 γ 因素敏感性分析

重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	稳定系数 F_s		
	天然工况 $c=45.79\text{ kPa}, \varphi=17.14^\circ$	饱和工况 $c=31.74\text{ kPa}, \varphi=12.64^\circ$	地震工况 $c=45.79\text{ kPa}, \varphi=17.14^\circ$
20	1.617	1.140	1.140
21	1.577	1.112	1.111
22	1.541	1.087	1.084
23	1.507	1.064	1.060
24	1.477	1.043	1.038

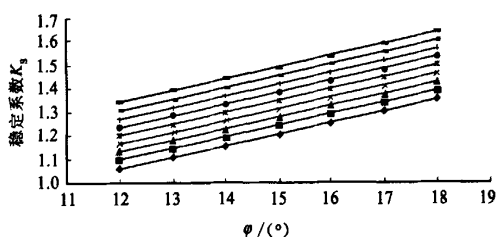


图3 土体内摩擦角敏感性分析

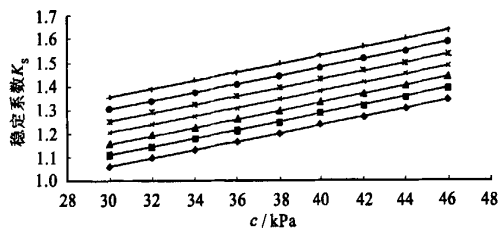


图4 土体粘聚力敏感性分析

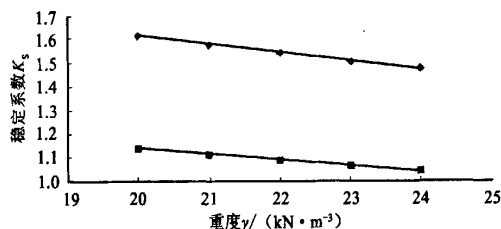


图5 土体重度敏感性分析

根据上述分析结果,稳定系数 K_s 随内摩擦角及粘聚力的增大而增大,随重度的增大而减小。根据稳定系数随因素变化率可见,内摩擦角变化的影响最为显著,每增加 1° ,稳定系数增大 $0.047 \sim 0.051$,粘聚力及重度影响相对较小,分别为每增加 1 kPa ,稳定系数增大 $0.0175 \sim 0.018$,每增加 1 kN/m^3 ,

稳定系数减小 $0.021 \sim 0.04$ 。

5 结论及建议

1)介绍了王家包滑坡的基本特征,分析了滑坡成因机制,探讨了各种机制的作用机理。

2)通过滑坡体主要变形迹象,定性分析了滑坡的稳定状态;采用极限平衡分析传递系数法对滑坡整体稳定性进行了定量计算表明,滑坡在三种工况下处于基本稳定—稳定状态。

3)对滑坡体稳定性影响因素的敏感性分析表明,土体内摩擦角对滑坡稳定性影响最为显著,土体粘聚力及重度对稳定性影响相对较小。

4)为保证滑坡长期稳定,建议对滑坡进行截排水防治、对前缘变形剧烈区域进行支挡治理。

参考文献

- [1] 张倬元,王士天,王兰生,等. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [2] 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.
- [3] 时卫民,郑颖人,唐伯明. 滑坡稳定性评价方法的探讨[J]. 岩土力学,2003,24(4):545-552.
- [4] 刘传正. 论滑坡稳定性评价的几个关键问题[J]. 中国地质灾害与防治学报,1996,7(3):55-59.
- [5] 梁利喜,许强,刘天翔,等. 四川某滑坡成因机制分析及稳定性评价研究[J]. 水土保持研究,2007,14(2):189-193.
- [6] 张苏民,张旷成. 滑坡稳定性检算中几个问题的探讨[J]. 岩土工程技术,2008,22(6):271-276.

收稿日期:2009-10-19

(上接第9页)

土压力折减后作为超载 q ,按相邻基础考虑,然后计算软弱下卧层顶面处的附加应力 p_b 和 q 超载在下卧层中引起沉降量。该法计算思路清晰,可操作性强,准确度较高,建议在工程中采用。

参考文献

- [1] 龚晓南. 复合地基设计和施工指南[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 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,1996.
- [3] 韩春咏. 水泥搅拌桩复合地基沉降的影响因素分析[J]. 河北建筑工程学院学报,2008(4):6-8.
- [4] 胡雪梅. 基于粉喷桩复合地基沉降计算的探讨[J]. 岩土工程技术,2008(4):190-193.

- [5] 湖北省地方标准 DB42 建筑地基基础技术规范[s].
- [6] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[s].
- [7] 杨光华. 地基沉降计算的新方法[J]. 岩石力学与工程学报,2008(4):679-685.
- [8] 王士杰,朱常志,等. 复合地基加固区下卧层的变形计算[J]. 河北农业大学学报,2008(6):118-121.
- [9] 倪红,邬陈玲. 搅拌桩复合地基沉降计算方法分析[J]. 工业建筑,2008(38):755-757.
- [10] 王伟,王士杰,等. 刚性桩复合地基沉降计算方法研究[J]. 土工基础,2008(1):36-39.
- [11] 沈珠江. 理论土力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.

收稿日期:2009-11-02