

文章编号: 1008-2786-(2015)2-233-07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000030

地震作用诱发老滑坡复活机制的数值模拟

杜 飞,任光明,夏 敏,高 波,余天彬,吴龙科

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室 四川 成都 610059)

摘 要: 甘肃省白龙江流域某大型顺层岩质滑坡经“滑移-拉裂-剪断”而形成,天然状态下基本稳定。在经历“5·12”汶川特大地震发生后,此滑坡有明显的局部复活迹象,可见于滑坡后缘出现连续贯通的拉裂缝。以该滑坡在地震响应下的局部复活为例,以滑坡所处的区域地质条件为基础,对滑坡受地震响应导致局部复活的现象、特征,利用 GeoStudio 软件动力响应 Quake 模块,对该滑坡局部复活机制进行模拟研究。结果表明:地震响应下滑坡变形破坏受地质条件和地形坡度的影响显著,同一地震波,相对于基岩,滑坡体对地震波具有明显的放大效应。这为合理解释在“5·12”汶川特大地震作用下该滑坡局部复活原因提供了理论依据。

关键词: 滑坡;地震;局部复活;数值模拟;GeoStudio

中图分类号: P315.9,P642.23

文献标志码: A

地震诱发的斜(边)坡滑动是主要的地震地质灾害类型之一^[1],在丘陵和山区地带,地震诱发的滑坡相对具有数量多、分布广、危害大的特点。

“5·12”汶川特大地震诱发了大量的滑坡、崩塌等重大次生地质灾害,造成了巨大的经济损失和人员伤亡。据相关资料统计,“5·12”汶川地震后,同行的诸多学者对地震诱发地质灾害的发育分布规律^[2]、诱发机理进行了比较详细的研究、诠释^[3-5],进一步完善了地震诱发滑坡、崩塌发生的特征、诱发机理研究等^[6-9]。

由于地震导致斜(边)坡的破坏,不仅包括岩体本身的失稳破坏,而且还存在老滑坡失稳的可能^[10-11]。通过系统的文献检索和查阅,目前国内外对地震直接导致老滑坡整体复活或局部复活的特征研究相关文献相对甚少,因而,本文以地震影响范围内甘肃省白龙江流域一大型老滑坡的局部复活为例,详细研究了“5·12”汶川特大地震导致该老滑坡局部复活的特征、现象,研究成果对丰富和完善地震响应诱发斜(边)坡地质灾害具有重要的意义。

1 滑坡区地质条件

1.1 区域地质构造

研究区在大地构造上属秦岭褶皱系-西秦岭南部印支褶皱带,北以临潭-宕昌断裂带与西秦岭北部华里西褶皱带分界,南以玛曲-石坊-岸门口-略阳断裂带与松潘-甘孜地槽系毗邻,构造线方向呈 NWW-SEE 展布。研究区内陇南地处南北地震带中段天水-武都地震带,并受邻近松潘-平武地震带的强烈影响,属地震多发区,其地震基本烈度为 VII 度,仅史料记载的 7 级以上地震就达 16 次。尤其“5·12”汶川地震更是引发多处滑坡、崩塌以及老滑坡和古滑坡的复活,沟岸小型崩塌不计其数。该区域构造稳定性属于较差地区。根据 GB18306-2001《中国地震动参数区划图》及第一号修改单,其地震动峰值加速度仍为 0.15 g,相应地震基本烈度为 VII 度。

根据“5·12”汶川 8.0 级地震烈度分布图,白龙江流域武都-文县河段影响烈度为 VII 度。

收稿日期(Received date):2014-04-11;改回日期(Accepted):2014-05-23。

作者简介(Biography):杜飞(1988-),男,硕士研究生,岩土体稳定性及环境工程效应,[Du Fei(1988-),Male,Master Graduate Student,The effect of stability in Geotechnical engineering and Environmental engineering.]E-mail:dufei20080901@163.com

1.2 滑坡区基本地质条件

滑坡区位于甘肃省白龙江流域的高山峡谷区,右岸较左岸陡峭,右岸相对高度大约 800 m,左岸相对高度大约 600 m。河谷阶地发育一般,在河流 I 级基座阶地以下呈河槽地貌,岸坡 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。在构造上位于白龙江复背斜的北东翼,断裂构造局部比较发育。在各种地质作用下,出露基岩为中泥盆统,以坚硬岩层为主,岩性主要为石灰岩。岩层产状 $NW275^{\circ} \sim 335^{\circ}NE \angle 15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。

2 老滑坡基本特征

老滑坡位于稻畦子沟口下游侧,位于白龙江左岸,平面形态呈类似矩形状(图 1)。滑坡边界清楚,上下游边界以两侧的山脊为界,后缘高程 1100 m,前缘堆积高程 860 m,平均坡度 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$;滑坡体形态较完整,坡体内发育 1 条冲沟。滑坡横向宽约 150 m,纵向长约 435 m,滑体平均厚度 65 m 左右,最厚处可达 81 m,总体积约 $419.44 \times 10^4 m^3$,平均坡度 35° ,主滑方向 $NW310^{\circ}$,属于大型滑坡。

通过现场调查,组成滑坡的物质主要为块碎石土,但表部为松散的碎石土,从坡上往下整体均匀,层理不明显,厚度变化较大,坡脚和坡顶地段较薄,坡体中部较厚,下部为石灰岩,其产状 $NW290^{\circ}NE \angle 15^{\circ}$,呈缓倾坡外,前缘部位滑坡体直接覆盖在河流 I 级阶地的砂卵石层上,滑动面呈弧形状,总体前缘较缓、中后部陡,滑坡剖面呈弧形图 2 所示。老滑坡发育在岩性为石灰岩的泥盆系地层中,属于中-缓倾角、顺层基岩滑坡。根据现场调查和相关文献可知,该老滑坡的破坏模式:滑移-拉裂-剪断,“三段式”^[6],形成于 I 阶地的下切时期,坡体的形态较完整,天然状态下处于基本稳定状态。

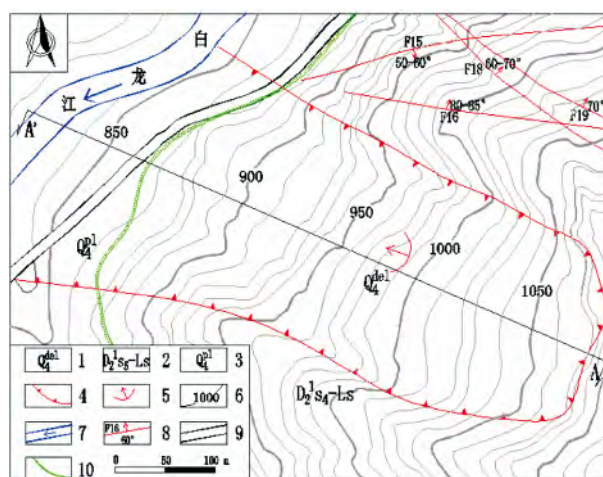
根据现场调查,老滑坡的局部复活发生于 2008 年的“5·12”汶川地震之后,在其震动影响下,滑坡体无整体松动,但局部有拉裂变形迹象,清晰可见地震作用在老滑坡坡体上形成的拉裂缝,尤其是滑坡体的后缘、坡体中部形成两条明显具有代表性的拉裂缝:L1-后缘高程 1075 m,走向 $210^{\circ} \sim 230^{\circ}$ 长度约 50 m,落差 0.3~0.5 m,深度可见;L2-滑坡中部高程 950 m,走向 $190^{\circ} \sim 215^{\circ}$,延伸长度约 70 m,宽 0.1~0.3 m,并产生垂直错落,高度约 0.1~0.2 m,深度可见(图 3)。由地震作用形成的拉裂变形可知:老滑坡的稳定性显著降低。

3 老滑坡复活机制的数值模拟

3.1 数值模拟

根据上述分析,在“5·12”地震作用下,该滑坡区实际地震烈度为 VII 度。在该烈度条件下导致早期处于基本稳定的滑坡破坏,破坏原因包括两方面:1. 本身坡体稳定性相对较差;2. 地震震动的作用导致滑坡体出现局部拉裂变形。下面进一步通过有限元数值模拟来分析。

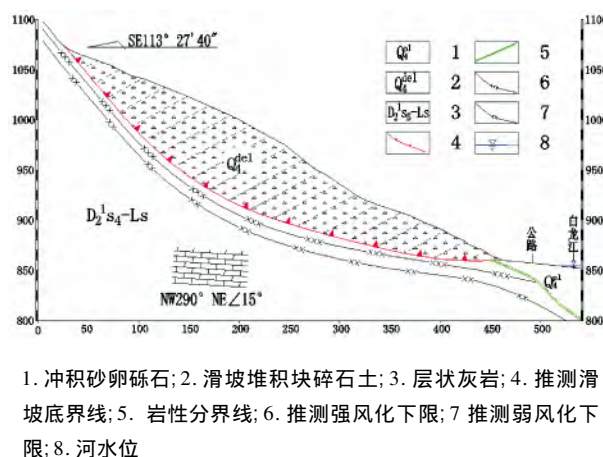
现场调查表明滑坡堆积体物质组成以块碎石土为主,含有一定似层状结构岩体,且保留有原岩的层序与结构;但整体上滑坡堆积体结构松散,数值计算



1. 滑坡堆积物;2. 层状灰岩;3. 冲积砂卵石;4. 滑坡边界;5. 滑动方向;6 等高线;7. 河流;8. 断层;9 公路;10. 岩性分界线

图 1 老滑坡平面图

Fig. 1 Plan view of the old landslide



1. 冲积砂卵石;2. 滑坡堆积块碎石土;3. 层状灰岩;4. 推测滑坡底界线;5. 岩性分界线;6. 推测强风化下限;7 推测弱风化下限;8. 河水位

图 2 老滑坡剖面图

Fig. 2 Sketch of the old landslide cross-section

中将其概化为均质体,结合相关岩体等效强度参数文献研究成果^[12],文中采用等效岩体力学参数将堆积体概化为均质体。

建立的 GeoStudio - QUAKE/W Analysis 计算模型(图4),滑面采用 GeoStudio - QUAKE/W Analysis 模块来模拟^[13-14]。坐标系选取如下: X 轴指向白龙江流向垂直的方向, Y 轴垂直向上。计算模型范围:



图3 地震后滑坡后缘、中部的拉裂缝

Fig.3 Rip in the back and middle of the landslide after the earthquake

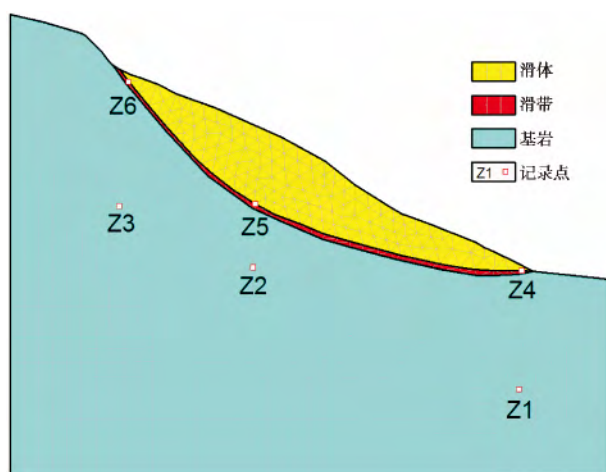


图4 滑坡动力数值分析模型

Fig.4 The model of dynamic numerical analysis of landslide

前缘取至白龙江河谷 850 m 高程,后缘至次级平台 1 120 m 高程,两侧分别以滑坡两侧的山脊为界。

3.1.1 边界条件的设置

GeoStudio - QUAKE/W Analysis 对有限边界约束提供了两种类型:应力和位移。本数值模拟为了明显准确的反应地震响应的影响,对数值模拟的边界条件设置如下:初始应力状态,底部边界(X 和 Y 方向)的位移为 0,左右侧边界 X 方向均为 0, Y 方向自由;地震响应时,底部边界(X 和 Y 方向)的位移为 0,左右侧边界 Y 方向均为 0, X 方向自由。

3.1.2 地震波的输入

根据“5·12”汶川 8.0 级地震烈度分布图,滑坡所在的白龙江流域武都-文县河段影响烈度为 VII 度,将加速度时程曲线(图5)作为地震载荷,并且输入 QUAKE 模块。在计算模型中,对模型以地震水平加速度的形式实现动力的加载。

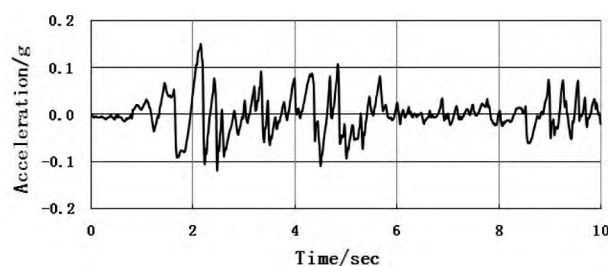


图5 地震加速度时程曲线

Fig.5 The time curve of earthquake acceleration

3.1.3 阻尼的选取

据郑颖人、许江波、邹德高等学者的研究^[15-16],对于土质及软岩边坡阻尼系数的选取,由于局部阻尼的选取不要求解边坡本身的自振频率,局部阻尼系数的选取具有一定的经验性,只要能够合理的进行高频过滤和基线修正,局部阻尼的取值对于土质及软岩边坡的动力稳定安全系数和位移基本没有影响,并参考 Ishibashi Isao、Zhang Xinjian 等学者对阻尼系数的研究^[17],一般阻尼系数的选取:当循环剪切应变介于 0.000 1~0.001 之间时,对应的阻尼系数取值范围为 0.05~0.15,由于本次计算模型岩性单一、模型单元较少,故本次计算模型选常量阻尼,阻尼系数取值 0.10。

3.1.4 模型参数选取

根据对现场所取试样进行室内土工试验以及相似工程类比和经验相结合方法^[18-19],并结合模型本身的简化综合得到该滑坡的岩土体力学参数(表1)。

表 1 岩土体力学参数
Table 1 Rock strength parameters

参数	重度 /(MN/m ³)	变形模量 /GPa	泊松比 /ν	内聚力 /MPa	内摩擦角 /°
滑带	0.022 0	0.20	0.32	0.080	26
滑体	0.023 5	0.50	0.28	0.300	33
基岩	0.027 2	12.0	0.23	1.500	50

3.2 数值模拟结果分析

GeoStudio – QUAKE/W 计算岩土体材料时 ,采用弹塑性模型、莫尔 – 库仑屈服准则 ,将整个数值模拟分 2 步进行 ,第一步施加自重(初始应力状态) ,第二步输入地震波。图 6 为天然状态下滑坡剪应变图 ,在滑坡后缘 – 中后部出现明显的剪应变集中带、剪应力集中带亦出现在滑坡中后部 ,但未贯通整个滑坡 ,由此可知: 天然状态下老滑坡整体稳定性相对较差。

将老滑坡在天然自重应力作用下的应力、应变归零后 ,施加图 5 所示的动力加速度时程曲线。图 7、图 8 为滑坡水平及总位移(指向河谷) 特征 ,应用 QUAKE/W 与 Sigma/W 的耦合计算出震后的变形: 滑坡水平位移为 13.80 ~ 17.98 cm ,总位移 14.30 ~ 23.53 cm ,且水平为正值 ,总位移为负值 ,即总位移向临空方向发生变形。由图 6 ~ 9 应变、位移分布特征综合分析可知 ,滑坡体应力较地震前有明显的增加 ,滑坡后缘及前缘部位均出现较明显的应力、应变集中带 ,整个应变沿滑带呈连续分布 ,相对地震前贯通率明显增大 ,由此可以推断地震是导致该滑坡复活的主要因素。滑坡体下覆为基岩(石灰岩) 水平和总位移相对滑体均较小 ,总体变形不明显(图 10) 。由历史追踪记录点可知 ,水平位移在滑坡中后部都表现为最大值 ,即该老滑坡中地形陡缓过渡部位位移最大(鉴于历史记录点 Z6) ,也反映了斜坡对地震波的放大效应(图 10) 。

数值计算设置了历史记录点 Z1、Z2、Z3、Z4、Z5、Z6 ,记录位移、加速度、速度 ,分别分布于(200 , 112) 、(200 ,145) 、(153 ,145) (153 ,156) 、(128 , 156) 、(128 ,183) ,如图 4 ,其监测结果如图 10 ~ 12 及表 2 ,可知滑坡的后缘较前缘位移大 ,滑坡中后部出现位移最大值 ,与上述位移特征(图 8、图 9) 结果以及现场调查拉裂缝、变形破坏现象吻合; 从速度响应记录曲线来看(图 11) ,也是后缘部位速度相对前

缘速度大 ,滑坡体的速度相对基岩速度大 ,由此可知在地震响应作用下 ,滑坡体的放大效应受地形坡度和不同地质体因素影响明显。

同理 ,由滑坡中 6 个历史记录点监测的水平加速度结果表明(图 12) ,滑坡体中峰值最大加速度为输入地震波的 2.86 倍 ,而处于同一海拔或者同一垂直方向的稳定基岩的加速度最大仅为输入地震动的 1.20 倍(表 2) ,诠释了在同一地震加速度下 ,滑坡体对地震更为敏感。由此可知 ,用 GeoStudio – QUAKE/W Analysis 数值模拟结果 ,比较理想的说明了老滑坡的复活机制。

表 2 追踪点的位移、速度、加速度特征

Table 2 The features of displacement、speed and acceleration of the monitoring points in model

响应量值	追踪点号					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
水平位移/cm	0.30	0.90	1.30	13.80	16.6	17.98
水平速度/(m/s)	0.08	0.13	0.16	0.25	0.31	0.33
加速度/g	0.15	0.17	0.18	0.32	0.39	0.43

4 结论与认识

根据上述分析 ,可以得到如下结论与认识:

1. 该老滑坡由顺层斜坡发生滑移 – 拉裂 – 剪断而成 ,在天然状态下处于基本稳定状态。经“5 · 12”汶川特大地震 ,该滑坡发生局部复活 ,于老滑坡中后缘坡体中形成明显的拉裂缝。研究表明: 在该次地震响应条件下导致原先处于基本稳定的老滑坡局部复活 ,主要是地震动的作用导致滑坡体出现局部拉裂变形的结果。

2. 本次采用 GeoStudio 二维数值模拟 ,以弹塑性模型、莫尔 – 库仑屈服准则为基础 ,对老滑坡的局部复活进行了数值模拟 ,结果表明: 在地震动作用下 ,老滑坡最大位移发生在滑坡的中后部 ,与现场调查拉裂缝、变形破坏现象吻合。

3. 根据数值模拟结果: 地震响应作用下滑坡变形破坏受地形坡度和不同地质体的影响较显著 ,滑坡对地震波具有明显的放大效应 ,同一地震动条件下 ,滑坡体相对于基岩响应更明显。

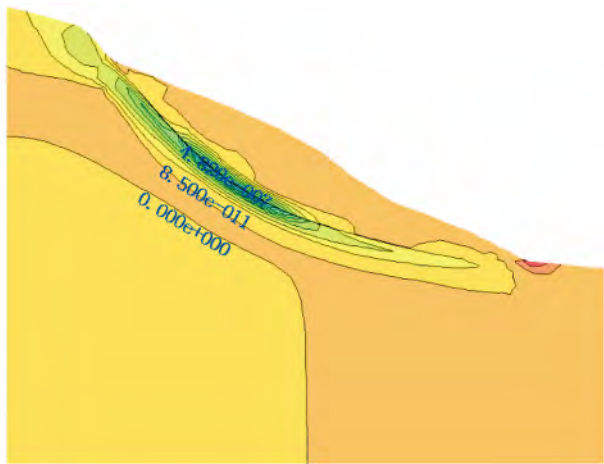


图 6 天然状态下应变分布特征
Fig. 6 The feature of shear strain under natural condition



图 9 地震动作用下应变分布特征
Fig. 9 The feature of shear strain under earthquake

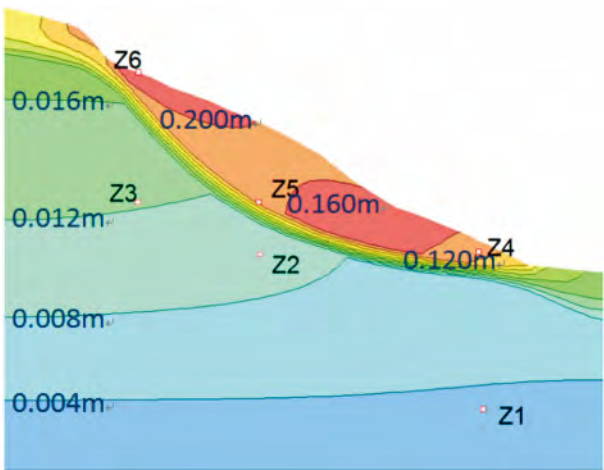


图 7 地震动作用下水平位移特征
Fig. 7 The feature of level displacements under earthquake

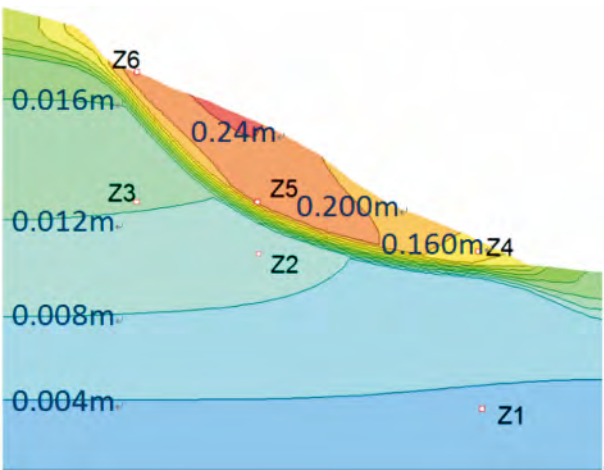


图 8 地震动作用下总位移特征
Fig. 8 The feature of total displacements under earthquake

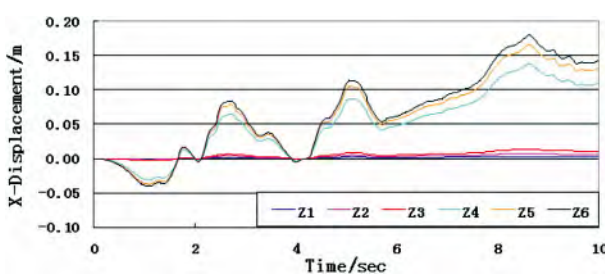


图 10 监测点的水平位移追踪结果
Fig. 10 Level displacements of the monitoring points

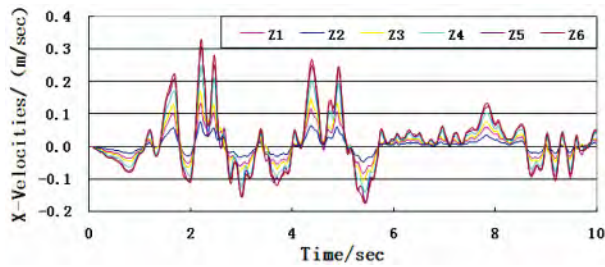


图 11 监测点的水平速度追踪结果(历史: Z1 - Z6)
Fig. 11 Level speed of the monitoring points(History: Z1 - Z6)

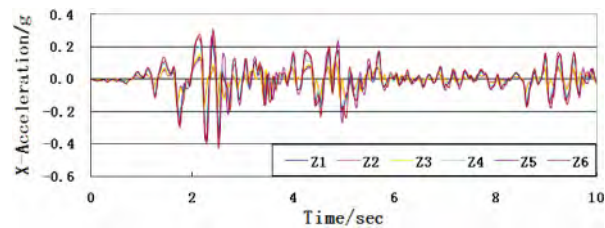


图 12 监测点的水平加速度追踪结果
Fig. 12 Level acceleration of the monitoring points

参考文献(References)

- [1] Zheng Zhouyuan ,Wang Shitian ,Wang Lansheng. Principles of engineering geology [M]. Beijing: Geological Publishing House 2009: 148 - 158 ,303 - 316 [张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社 2009: 148 - 158 ,303 - 316]
- [2] Huang Runqiu. Mechanism and geomechanical modes of landslide hazards triggered by Wenchuan 8.0 Earthquake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2008 28(6) :1239 - 1250 [黄润秋. 汶川 8.0 级地震触发崩塌滑灾机制及其地质力学模式[J]. 岩石力学与工程学报 2008 28(6) :1239 - 1250]
- [3] Huang Runqiu ,Pei Xianjun ,Li Tianbin. Basic characteristics and of Daguanbao landslide triggered by Wen-chuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geol. 2008 ,16(6) :730 - 741 [黄润秋,裴向军,李天斌. 汶川地震触发大光包巨型滑坡基本特征及形成机理分析[J]. 工程地质学报 2008 ,16(6) :730 - 741]
- [4] Xu Qiang, Huang Runqiu. Kinetics characteristics of large land-slides triggered by may 12th Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology 2008 ,16(6) :721 - 729 [许强,黄润秋. 5.12 汶川大地震诱发大型崩塌滑灾动力特征初探[J]. 工程地质学报, 2008 ,16(6) :721 - 729]
- [5] Xu Qiang ,Pei Xiangjun ,Huang Runqiu, The research of Wenchuan big earthquake landslide [M]. Beijing: Geological Publishing House 2009: 35 - 52 [许强,裴向军,黄润秋. 汶川地震大型滑坡研究[M]. 北京:科学出版社 2009: 35 - 52]
- [6] Huang Runqiu. Large-scale landslides and their sliding mechanisms in china since the 20th century [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2007 26(3) :433 - 455 [黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007 26(3) :433 - 455]
- [7] Zhao Jisheng ,Wei Jingzhi, Mechanism of landslide and rockfall caused by Wenchuan MS 8.0 Earthquake [J]. Technology for Earth-quake Disaster Prevention 2008 3(4) :379 - 383 [赵纪生,魏景芝. 汶川 8.0 级地震滑坡、崩塌机制[J]. 震灾防御技术, 2008 3(4) :379 - 383]
- [8] Xu Qiang ,Chen Jianjun. Study of the seismic response of slopes by physical modeling [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition 2009 41(3) :266 - 272 [许强,陈建君. 斜坡地震响应的物理模拟试验研究[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2009 41(3) :266 - 272]
- [9] Zheng Yingren ,Ye Hailin ,Huang Runqiu. Analysis and discussion of failure mechanism and fracture surface of slope under earthquake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2009 28(8) :1714 - 1723 [郑颖人,叶海林,黄润秋. 地震边坡破坏机制及其破裂面的分析探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2009 28(8) :1714 - 1723]
- [10] Liu Hongbing ,Zhu Xi. Advance on topographic amplification effects of seismic response [J]. World Information on Earthquake Engineering 1999 ,15(3) :20 - 25 [刘洪兵,朱晞. 地震中地形放大效应的观测和研究进展[J]. 世界地震工程, 1999 ,15(3) :20 - 25]
- [11] Hu Xiewen. Earthquake reactivation effects and stability study of malingyan landslide in Tangjiashan dammed lake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2009 28(6) :1270 - 1279 [胡卸文. 唐家山堰塞湖库区马铃岩滑坡地震复活效应及其稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报 2009 28(6) :1270 - 1279]
- [12] Yang Qiang ,Chen Yingru ,Liu Yaoru et al. Theory and method of determining equivalent strength parameters of rock mass [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2008 27(10) :1993 - 1999 [杨强,陈英儒,刘耀儒,等. 岩体等效强度参数确定的理论和方法[J]. 岩石力学与工程学报 2008 27(10) :1993 - 1999]
- [13] Liu Handong ,Jiang Tong ,Liu Haining et al. Numerical calculation method in geotechnical engineering [M]. Beijing: Yellow River Publishing House 2011: 192 - 200 [刘汉东,姜彤,刘海宁,等. 岩土工程数值计算方法[M]. 北京:黄河水利出版社 2011: 192 - 200]
- [14] Liao Hongjian ,Xie Yongli ,Wang Tiehang et al. Numerical analysis of geotechnical engineering [M]. Beijing: Mechanical industry Publishing House 2009: 142 - 158 [廖红建,谢永利,王铁行,刘怀恒,等. 岩土工程数值分析[M]. 北京:机械工业出版社, 2009: 142 - 158]
- [15] Xu Jiangbo ,Zheng Yingren ,Ye Hailin. Analysis on risk factors for seismic stability of soil and soft rock slope [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering 2011 7(6) :1233 - 1240 [许江波,郑颖人,叶海林. 土质及软岩边坡地震稳定性影响因素分析[J]. 地下空间与工程学报 2011 7(6) :1233 - 1240]
- [16] Zou Degao ,Xu Bin ,Kong Xianjing. Study of influence of different methods for calculating Rayleigh damping coefficient on high earth-rock dam seismic response [J]. Rock and Soil Mechanics 2011 32(3) :797 - 803 [邹德高,徐斌,孔宪京. 瑞利阻尼系数确定方法对高土石坝地震反应的影响研究[J]. 岩土力学, 2011 32(3) :797 - 803]
- [17] Ishibashi Isao ,Zhang Xinjian, Unified Dynamic Shear moduli and damping ratios of sand and clay [J]. Soil Engineering Institute Paper Sets ,1993 33(1) :182 - 191
- [18] Zhang Xiang. Study on stability and deformation damage mechanism of the Suo'ertou landslide in Zhouqu County Gansu Province [D]. Chengdu : Chengdu University of Technology 2012: 40 - 48 [张翔. 甘肃舟曲锁儿头滑坡变形破坏机制及稳定性研究[D]. 成都:成都理工大学 2012: 40 - 48]
- [19] Li Xiao. Composition characteristics and its Genetic significance of sliding zone soil [D]. Lanzhou : Lanzhou University 2010: 48 - 52 [李晓. 滑带土组成特征及其成因意义[D]. 兰州:兰州大学, 2010: 48 - 52]

Numerical Simulation of Recurrence Mechanism of Old Landslide Under Earthquake Loading

DU Fei ,REN Guangming ,XIA Min ,GAO Bo ,YU Tianbin ,WU Longke

(Chengdu University of Technology State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection ,Chengdu 610059 ,China)

Abstract: A large landslide of bedding located in Bailong River basin in Gansu Province of China is formed by sliding-cracking-shearing and under the natural state is basically stable. Earthquakes are the main factors affecting slope stability after the “5 • 12” Wenchuan earthquake ,the landslide shows clear signs of revival partial consecutive gaps were found in the back margin. In the paper ,considering the revival of the landslide under the seismic response ,first the regional geological conditions were analyzed ,as well as the phenomenon and feature due to the earthquake response. Finally ,the landslide resurrection mechanism is simulated by using built-in dynamic response Quake module of the GeoStudio software. The results show that landslide failure under seismic response is mainly affected by geological conditions and topographic slope; then ,landslide on the response of seismic wave have obvious amplification; Compared the bedrock in a steady state ,landslide body is more sensitive to the response of seismic wave that under the same seismic wave. It provide theoretical basis for the rational explanation of the causes of the landslide resurrection under the “5 • 12” Wenchuan earthquake action.

Key words: landslide; earthquake; local resurrection; numerical simulation; GeoStudio

封面照片: 青海湖畔的沙丘

青海湖地处青藏高原的东北部 ,这里地域辽阔 ,草原广袤 ,河流众多 ,水草丰美 ,环境幽静。湖的四周被四座巍巍高山所环抱: 北面是崇宏壮丽的大通山 ,东面是巍峨雄伟的日月山 ,南面是逶迤绵绵的青海南山 ,西面是峥嵘嵯峨的橡皮山。这四座大山海拔都在海拔 3 600 m ~ 5 000 m。举目环顾 ,犹如四幅高高的天然屏障 ,将青海湖紧紧环抱其中。从山下到湖畔 ,则是广袤平坦、苍茫无际的千里草原 ,而烟波浩淼、碧波连天的青海湖 ,就像是一盏巨大的翡翠玉盘平嵌在高山、草原之间 ,构成了一幅山、湖、草原相映成趣的壮美风光和绮丽景色。

近年来 ,由于自然环境条件变化和人为活动的综合影响 ,湖区沙漠化趋势加剧 ,导致一系列的生态环境问题。青海湖流域沙漠化土地主要分布在湖东岸下巴台、海晏克土及耳海周围。在湖北岸的尕斯库勒湖周围、草格滩、甘子河、湖西岸的鸟岛、沙陀寺至布哈河、石乃亥地区及湖南岸一朗剑、二郎剑等地带也分布部分沙漠化土地。湖东岸的下巴台至日月山一带是流动沙丘集中分布区 ,在湖西岸的鸟岛地区 ,主要是平缓流沙地 ,分布在河漫滩、入湖河口三角洲及湖滨平原 ,为流沙直接入湖的主要地段。图为青海湖东岸的流动沙丘。

(蓝永超)