

甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震王家沟灾后 重建场地滑坡危险性评价^①

车高风^{1,2}, 刘红玫^{1,2}, 柴少峰^{1,2}, 钟秀梅^{1,2}

(1. 中国地震局兰州地震研究所 黄土地震工程重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 甘肃省 岩土防灾工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要:以甘肃省省委、省政府岷县漳县 6.6 级地震灾后恢复重建工作的统一部署为契机,通过对岷县王家沟灾后重建安置点进行现场资料收集和场地条件勘察,把握异地重建集中安置点场地特征。在对该场地进行实地勘察后,对其边坡现场取土,室内进行静力试验,从土体物理力学性质方面给出该边坡相关参数,将其作为数值建模的基本参数,结合岷县实际发生地震波来模拟边坡在地震作用下的动力力学特性,得出其边坡的安全系数。结合《滑坡防治工程勘察规范》和《建筑抗震设计规范》开展岷县王家沟灾后重建安置点场地滑坡危险性评价,经数值模拟计算分析得出其边坡在静力条件下处于欠稳定状态,存在进一步滑坡的可能性;在动力条件下处于不稳定状态,尤其在强震的情况下,极有可能引起滑坡体进一步滑塌,其地质灾害危险性大。并针对已出现的实际场地安全问题,提出综合防御震害的对策建议,综合考虑建议避让,另选安全可靠的场地进行安置,方可避免更大的损失。

关键词:黄土; 场地; 滑坡; 边坡稳定性

中图分类号: P642

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)增刊 2-0325-04

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2016.Supp.2.0325

Landslide Risk Assessment of Wangjiagou Post-earthquake Reconstruction Site after the Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake

CHE Gao-feng^{1,2}, LIU Hong-mei^{1,2}, CHAI Shao-feng^{1,2}, ZHONG Xiu-mei^{1,2}

(1. Key Laboratory of Loess Earthquake Engineering, Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, Gansu, China;

2. Geotechnical Disaster Prevention Engineering Technology Research Center of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: In this paper, Gansu provincial committee and government unified arrangements Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake recovery and reconstruction work as an opportunity, by collecting field data and reconnaissance site conditions, it can grasp the site characterization of relocated concentrated settlements. After the field investigation, the author digged loess samples from the slope, tested the static test in the laboratory, got the relevant parameters from the soil physical and mechanical properties, used these parameter as the basic parameter for numerical modeling, used Minxian seismic wave to simulate the dynamic mechanical properties of the slope under earthquake action, the safety factor of the slope was obtained at last. On the basis of the calculation of the safety factor, combined with the "Specification of Geological Investigation for

① 收稿日期: 2016-04-10

基金项目: 地震科技星火计划(XH16038Y); 中国地震局黄土地震工程重点实验室开放基金项目(KLLE-15-004); 国家自然科学基金(51578518); 地震科技星火计划(XH17037Y)

作者简介: 车高风(1987—), 女, 研究实习员, 主要从事地震工程研究。E-mail: 414261490@qq.com。

通信作者: 刘红玫, 女, 高级工程师。E-mail: liuhm@gssb.gov.cn。

Landslide Stabilization " and" Code for seismic design of buildings ", the paper will give the site's landslide risk assessment, the slope is under steady state under static conditions, there is a possibility of further landslides, it is in an unstable state under dynamic conditions, especially in the case of strong earthquakes, it is likely to cause landslides further collapse , And for the actual site security issues that have arisen, it will also present a comprehensive damage prevention countermeasures. Considering the proposed avoidance, another safe and reliable site for placement, in order to avoid greater losses.

Key words: loess; site; landslide; slope stability

0 引言

2013年7月22日甘肃省岷县、漳县交界发生 $M_s6.6$ 地震,震源深度20 km,震中烈度Ⅷ度,受灾面积16 432 km²,受灾人口约230多万人,地震造成经济损失为175.88亿元。此次地震的发生还诱发了许多的次生灾害,其中黄土边坡或者覆盖层的崩塌和滑坡是一种典型的次生灾害^[1]。黄土作为一种全球广泛分布的第四纪沉积物与人类生存环境密切相关^[2]。我国黄土高原是具有特色的黄土地貌,其总面积达63.5万 km²。黄土由于其架空孔隙结构和弱胶结特性,在黄土高原高烈度的地震活动背景下,一旦遭遇地震其微观结构和物理力学性质会发生适应性变化,进而影响其宏观的强度和变形特性,甚至导致失稳破坏^[3]。在黄土地区的地震地质灾害中,89%的震害为滑坡、崩塌等斜坡失稳破坏。近年来先后对2008汶川 $M_s8.0$ 地震和2013年岷县 $M_s6.6$ 地震的震后科学考察发现,甘肃省境内黄土地区震后次生地质灾害以斜坡失稳灾害最为严重。

岷县清水乡王家沟村安置点地处陇中黄土高原地区,其黄土厚度一般为10~30 m,黄土以中晚更新世风积黄土为主。此类黄土鉴于自身结构与地表水的影响,更易发生滑坡等地震次生灾害。场地作为承载建筑的平台,系统全面地对场地进行安全性调研是非常必要的,初步判定场地及建筑可能面临的自然危害因素,可提高其抗御自然或人为灾害的能力^[4-6]。本文通过现场资料收集、场地条件勘察、室内试验和数值分析等方法,进行岷县王家沟灾后重建安置场地滑坡危险性评价并提出综合防御震害的对策建议,研究成果可为黄土地区场地安全性评价提供参考依据。

1 场地地质条件

王家沟异地重建安置场地(103.92° E, 34.48° N)位于甘肃省定西市岷县清水乡,场地总面积24 km²,平均海拔2 573 m,根据《中国地震烈度表

(GB/T17742-2008)》,此场地抗震设防烈度为Ⅷ度。现场调查结果表明,该场地属于厚黄土覆盖斜坡场地,其平均坡度为25°,经平整、碾压、填方等施工,将此前阶梯状耕地改造形成安置平台。安置平台共三层,呈台地式分布(图1)。场地安置平台平均垫层3 m左右,最厚处约为4 m,经现场波速测试计算得出等效剪切波速为286 m/s。该场地后缘山坡体开挖处理后,其坡度为60°。图1为王家沟场地安置平台地貌图。



图1 王家沟场地安置地貌图

2 室内试验及稳定性计算

2.1 室内试验

因该场地后缘为滑坡体,故调查组在该安置点场地滑坡侧缘往下17 m处取土进行室内试验,得到其具体物理参数(表1)。此次试验在WF-12440动三轴-扭剪试验系统上完成。运用该仪器进行试样固结不排水条件下的静三轴试验,试样尺寸统一为 $\Phi 50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 。

表1 土体物理力学指标

| 含水率/% | 密度/(g·m ⁻³) | 干密度/(g·cm ⁻³) |
|-------|-------------------------|---------------------------|
| 18.92 | 2.07 | 1.74 |

试验表明,试样在不同围压作用下,其土体的内摩擦角为34°,黏聚力为51.39 kPa。

2.2 边坡稳定性计算

通过现场资料收集、场地条件勘察等方法,对该灾后异地重建集中安置点开展场地地震安全性评估,把握各异地重建集中安置点场地特征,综合分析场地其潜在地震地质灾害危险性(滑坡、场地震陷、液化、泥石流等),因该场地实际地质环境极其符合滑坡发生的相关特征,故本文侧重于场地边坡的稳定性研究。

2.2.1 计算方法的确定

以室内试验为基础,结合数值分析方法,运用有限元软件 ABAQUS 实现将强度折减理论与弹塑性有限元方法相结合,在静力作用下,通过调整折减系数对边坡的稳定性进行分析,求得边坡的静力稳定性安全系数。在动力作用下,则通过考虑从模型底部输入水平向地震波来计算边坡在地震作用下的稳定性安全系数。影响黄土斜坡稳定的因素是复杂而综合的,其稳定系数也是经常变化的,寻找其中最小的稳定系数才是最安全可靠的。

2.2.2 计算参数的确定

因该场地后缘为滑坡体,故调查组在该安置点场地平台 17 m 处取土进行室内试验,得出其具体物理参数(表 2),以此作为建模所需的参数。

表 2 王家沟黄土物理参数

| 含水率/% | 密度/ ($g \cdot cm^{-3}$) | 弹性模量 /MPa | 泊松比 | 黏聚力 /kPa | 内摩擦 角/(°) |
|-------|------------------------------|--------------|------|-------------|--------------|
| 18.92 | 2.07 | 12 | 0.28 | 34 | 51.39 |

在动力作用下,模型底部需输入水平向地震波来进行斜坡的稳定性安全系数。岷县地震台记录到的本次地震强震动 NS 方向最大峰值加速度为 172.5 gal,EW 方向为 160.7 gal,垂直方向为 78.4 gal^[7-8]。故在地震作用下土体稳定性计算中,输入荷载为岷县 NS 方向地震波,峰值加速度取为 200 gal。

2.2.3 稳定性的计算结果

鉴于实际拟建场地的斜坡规模、地质条件等特点,考虑到影响边坡稳定性的相关因素,可确定运用两种工况进行稳定性计算。工况一:天然状态下的土体稳定性;工况二:地震作用下的土体稳定性。图 2 为斜坡稳定性计算的有限元计算模型。

图 3 为边坡在天然状态下的土体稳定性安全系数。本文采用力和位移的不收敛作为边坡失稳的标志,此斜坡的安全系数为 1.01。

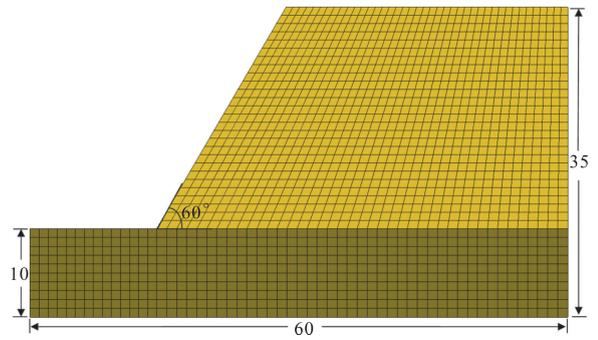


图 2 有限元计算模型

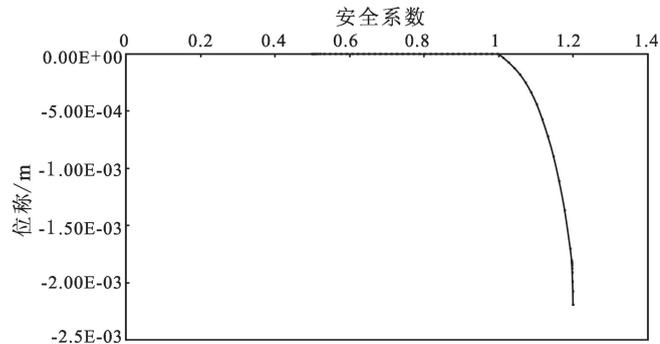


图 3 静力稳定性安全系数图

动力计算是在静力计算的基础上进行的。在水平向地震波的作用下,根据调整折减系数得出最小稳定系数,但由于边坡稳定安全系数最小值出现在某一瞬间,用这个值评价边坡在地震荷载作用下的抗滑稳定性显然过于保守。采用刘汉龙等^[9]提出的 $0.65(F_{s0} - F_{smin})$ 作为稳定系数的平均振幅来反应稳定系数因地震作用而偏离的幅度,则最小平均稳定系数为 $F'_{smin} = F_{s0} - 0.65 \times (F_{s0} - F_{smin})$,其中 F_{s0} 为边坡在静力作用下的稳定安全系数, F_{smin} 为动力荷载作用下的最小安全系数。根据调整折减系数 0.5~2.0,可得出 F_{smin} 为 0.42,从而进一步得出最小平均稳定系数 F'_{smin} 为 0.623。

经计算边坡在不同工况下的稳定性结果如表 3 所列。

表 3 边坡稳定性计算结果

| 计算工况 | 稳定系数 F_s |
|------|------------|
| 工况 1 | 1.01 |
| 工况 2 | 0.632 |

2.2.4 稳定性评价

《滑坡防治工程勘察规范》(DZ/T0218-2006)^[10]给出了边坡稳定性分级评价标准,可根据其相关划分标准对边坡进行稳定性评价。其具体标

准如表4所列。

表4 边坡稳定性分级评价标准

| 稳定系数 F_s | 稳定状态 |
|-----------------------|------|
| $F_s < 1.0$ | 不稳定 |
| $1.0 \leq F_s < 1.05$ | 欠稳定 |
| $1.05 \leq F_s < K_s$ | 基本稳定 |
| $F_s \geq K_s$ | 稳定 |

注: K_s 为斜坡安全性系数。

当边坡处于不同的工况条件下,经计算其边坡稳定系数大于或者等于斜坡安全系数时,即视为该边坡在此工况条件下稳定性满足要求。该场地在静力作用下稳定系数为1.01,动力作用下稳定系数为0.632,依据上表的分级评价标准,可给出该边坡的稳定状态分级评价,即该边坡在静力条件下处于欠稳定状态,在动力条件下处于不稳定状态。

岷县王家沟地震灾后安置点场地后缘边坡经室内试验以及数值模拟计算,分析得出其边坡在静力和动力作用下的边坡稳定性系数,并依据边坡稳定性分级评价标准,得出该边坡在静力条件下处于欠稳定状态,存在进一步滑坡的可能性,在动力条件下处于不稳定状态,尤其在强震的情况下,极有可能引起滑坡体进一步滑塌,现状条件下场地发生滑坡的地质灾害危险性大。

3 工程建议

在实际滑坡治理中,滑坡整治工程措施主要有减滑工程和抗滑工程两大类,可通过削方减载与填土反压、做好地表与地下排水、抗滑桩和格构锚固或者挡土墙等方式来整治滑坡。王家沟灾后重建安置点分为上下两台阶,总安置面积 24 km^2 ,结合其实际地形条件,其后期处理与另行选址相比,显然滑坡处理成本更高,并不适用于农居重建安置点的场地处理。综合考虑诸多因素,建议另选安全可靠的场地进行安置。

4 结论

本文以甘肃省省委、省政府岷县漳县6.6级地

震灾后恢复重建工作的统一部署为契机,结合其的岷县王家沟灾后重建安置点的安全性评估为切入点,对其灾后重建异地重建集中安置点开展场地滑坡危险性评估,得出以下结论:

(1) 对岷县王家沟地震灾后安置点场地后缘边坡进行现场取土,经室内试验得到其场地黄土的物理力学参数,为其场地的稳定性计算提供建模参数。

(2) 经数值模拟计算分析得出,其边坡在静力条件下处于欠稳定状态,存在进一步滑坡的可能性,在动力条件下处于不稳定状态,尤其在强震的情况下,极有可能引起滑坡体进一步滑塌,现状条件下评估其地质灾害危险性大。

(3) 该场地虽平坦便于做为灾后重建安置场地,但其后期场地处理经费较高,从经济角度出发,并不适用于农居重建安置点的场地滑坡处理,综合考虑建议避让,另选安全可靠的场地进行安置,方可避免更大的损失。

参考文献

- [1] 徐舜华,吴志坚,孙军杰,等.岷县漳县6.6级地震典型滑坡特征及其诱发机制[J].地震工程学报,2013,35(3):471-476.
- [2] 倪宏革,时向东.工程地质[M].北京:北京大学出版社,2009:25-26.
- [3] 张泽忠.黄土斜坡地震稳定性分析及区划[D].兰州:中国地震局兰州地震研究所,2013:1-2.
- [4] 胡斌,吕元,熊瑛,等.场地设计的安全理念[J].低温建筑设计,2007(2):15-16.
- [5] 《工程地质手册》编委会.工程地质手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2007:807-809.
- [6] 任洋,李天斌,沈军辉,等.汶川大地震后拟建龙池服务区场地地质灾害危险性评估[J].中国水运,2009,3(9):177-178.
- [7] 田秀丰,李佐唐,徐钦,等.甘肃省岷县漳县6.6级地震强震动观测记录与初步分析[J].地震工程学报,2013,35(3):497-502.
- [8] 王爱国,刘方斌.岷县漳县6.6级地震地震极震区峰值加速度估算[J].地震工程学报,2013,35(3):483-488.
- [9] 刘汉龙,费康,高玉峰.边坡地震稳定性时程分析方法[J].岩土力学,2003,24(4):553-560.
- [10] 中华人民共和国地质矿产行业标准.滑坡防治工程勘查规范(DZ/T 0218-2006).2006.