

黄土随机振动强度参数在地震滑坡分析中的应用

张振中 郑恒利 王兰民

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

地震滑坡往往是黄土地区最突出而且最严重的灾害类型。为了寻求黄土地区震害预测方法,作者选择了位于1920年海原大震10度区内的回回川滑坡进行具体研究。分析中运用了输入随机地震动时程的不规则波动三轴仪强度试验所得的参数。在稳定性分析中采用了求解临界地震系数的方法,反演得出回回川滑坡形成前原始斜坡坡角为 5° — 15° 的安全系数为3.3,是一个相当稳定的斜坡。而在地震力作用下,在具有相当于地震烈度8度强或9度弱的地震动加速度时就产生滑动。反演结果与实际较吻合,说明本文提出的方法是分析滑坡形成规律和对黄土斜坡进行稳定性分析的切合实际且较为准确的方法。

前 言

黄土地区在地震作用下往往形成大规模的黄土地震滑坡灾害,1920年海震大地震时,形成的滑坡严重而密集的区域达 4000km^2 以上。这类产生于黄土层中的地震滑坡有明显的形态特征和形成规律,但以往对此多限于定性的描述和判断,缺乏定量的分析,因而借助这些研究结果对未来地震时黄土丘陵区震害预测尚有不足。为此,作者选择了发生在1920年海原大地震10度区内的西吉县回回川村附近的典型黄土地震滑坡进行了地震稳定性分析的研究。本文介绍了具体分析方法及研究结果。

一、回回川滑坡的基本情况

1. 位置和规模

1920年海原大地震时,西吉县一带的地震烈度为10度,造成了成群连片、规模巨大的滑坡,回回川滑坡是其中较大的一个。它位于西吉县回回川村西南角。滑坡体长687m,宽359m,滑坡后壁至前缘高差约100m,滑动土层厚30—50m,下滑土方量约为 766万m^3 。

2. 特征

回回川滑坡具有崩塌性滑坡的特征。它是在地震时瞬间发生的, 至今在形态上还保留有被抛掷的痕迹, 可以想象其突然崩溃的状况; 该滑坡的形成不显示地下水的作用。该滑坡地处黄土梁峁地区的缓斜坡地段, 不含地下水, 土质湿度不大, 含水量在15%左右, 因而排除了重力作用的可能性; 滑坡体呈粉碎性破坏, 虽无地下水但其形态显示流滑特点。滑体坡度平缓, 土体大部分滑出谷床, 滑动面裸露; 滑坡形成前的自然斜坡平缓, 这一带的天然坡角为 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$, 平均为 7.5° [1]。滑动面的平均坡度为 8.4° 。这样的斜坡是处在重力滑坡安全角度之下的稳定斜坡, 因此海原地震后至今的70年时间内, 该滑坡一直保存着原来的面貌。

3. 滑坡土层的土质参数

回回川滑坡是滑动面在Q₃黄土层中的均质滑坡, 为了获取原状黄土试样, 我们在滑坡附近未滑动的黄土层中挖一个5米深的探井, 取原状土样作为常规土质分析和静、动三轴试验用的试样。现将土质参数列于表1(段汝文等, 1989)。

表 1

探井及 土样编号	取土深度 (m)	含 水 量 (%)	容 重 (KN/m ³)	孔 隙 比	塑性指数	静 强 度	
						C (kPa)	$\phi(^{\circ})$
G89~8	5.0	15.5	15.4	1.038	9.7	44.1	17.2

二、随机振动下黄土的强度参数

1. 试验方法

目前在土层地震反应分析计算中所用的输入波是随机人造地震动时程或强震加速度记录, 计算出土体中某一部位的地震反应也是随机反应时程[2]。而国内在黄土斜坡、土坝和地基的地震稳定性分析计算及其震害预测中, 所用的动强度参数绝大多数是用单一频率的正弦波等效地震荷载在动三轴仪上进行试验得到的。这样势必存在一些不相适应的问题, 另外, 地震危险性分析和地震小区划的成果在地震稳定性分析和震害预测中也不能被直接利用。

为了能提供较为切合地震动实际的强度参数, 我们提出了在随机地震荷载条件下, 从黄土的动应力残余应变曲线确定动强度的动三轴试验方法。其动强度参数可以这样确定: 首先将当地地震危险性分析中所采用的强震加速度记录或人造地震波作为基岩输入波, 进行土层地震反映分析计算, 求出所要分析土层的地震反应时程, 然后将该土层随机反应时程直接施加到从该土层取出的试样上进行动强度试验, 确定出试样在该随机地震荷载时程下的动强度*。

2. 随机地震荷载时程

回回川地震滑坡距1920年海原大地震震中约70公里, 位于10度区内。由Seed[2]的地震动卓越周期与地震震级、震中距的经验关系曲线可得, 海原大地震在回回川的地震动卓越周期为0.515秒。为此, 我们选用并调整了1985年新疆乌恰地震6.7级强余震加速度记录UD

* 王兰民、张振中、王峻、李兰, 随机地震荷载作用下黄土动强度的试验方法, 1989。

分量。该随机地震动时程的卓越周期为0.42秒。本文结合其幅度调整,将卓越周期调整为0.5秒。等效往返次数为30次。最大加速度峰值没有调整,这是因为在试验中,随机地震动时程峰值是逐级增大直至试样破坏。

3. 强度参数

据上述试验方法,用上述随机地震荷载时程,对取自滑坡现场的G89—3原状黄土样进行动强度试验,其结果为: $C = 16.9 \text{ kPa}$, $\phi = 23.0^\circ$ 。

为计算原始斜坡在地震前的安全系数和动、静强度对比,我们还作了静三轴仪的强度试验,结果列于表1。

三、地震滑坡的稳定性分析

对地震滑坡进行稳定性分析时,准静力法是简便易行的方法之一。在该方法中地震力对斜坡的影响是用地震系数来体现的。然而对不同地震或不同场地条件下的相同烈度区最大地震加速度有时相差一倍之多。因而没有现场加速度记录的情况下,如何正确选择分析中的地震系数是对地震滑坡进行分析的结果正确与否的关键步骤之一。

1. 方法概述

根据上述试验所获得的静、动强度参数,整理出静强度比与动强度比的关系曲线。然后选取不同的地震系数用条分法(或毕肖普的圆弧滑动法等其它方法)试算出水平地震系数与安全系数 F 的关系曲线。利用这两组关系曲线可估计出引起地震滑坡的临界地震系数,从而提供了一种选取地震系数的新方法^[4]。

2. 分析步骤

首先,由静三轴试验取得土样试样的静强度参数及 C 、 ϕ 值;第二,用随机地震荷载时程作动三轴试验取得动强度参数。由于在试验过程中采用偏压固结,因而在加动荷载之前试样承受一起始剪应力 τ_s 。对应几个不同的固结轴向应力,可得一组相应的起始剪应力。在土样完成固结后,施加同一时程但不同幅值的随机地震荷载时程 σ_d 。当土样达到破坏标准的轴向动应力为 σ_{d1} 时,可得 45° 面上的破坏剪应力 τ_{d1} 。此时将 $(\tau_s + \tau_{d1})$ 定义为土样的动强度,至此试验工作基本结束;第三,由静强度的 C 、 ϕ 值计算得静强度 τ_t ,经整理可得静强度比 τ_s/τ_t 和动强度比 $[(\tau_s + \tau_{d1})/\tau_t]$,并作出动、静强度比关系图(图1);第四,利用静强度值对斜坡进行不同地震系数下的稳定性分析,得到静强度参数下水平地震系数 K_h 与安全系数 F 间的关系图(图2),图中 $K_h = 0$ 时的安全系数 $F_{s0} = \text{静剪切强度}/\text{起始剪应力}$,而图1中的静强度比 $\tau_s/\tau_t = \text{起始剪应力}/\text{静剪切强度}$,则 $\tau_s/\tau_t = 1/F_{s0}$,亦即由 $K_h = 0$ 时的安全系数 F_{s0} 可算得对应的静强度比 τ_s/τ_t ,在图1中,根据静强度比值又可得到相应的动强度比。此值可看作在地震情况下由静强度参数算得的 F_s 值增加的倍数,扩大后的 $F'_s = 1$ 所对应的水平地震系数即为滑坡失稳的临界地震系数。

3. 回回川滑坡的反演

如上所述,回回川滑坡是一个典型的地震滑坡。它形成于原来比较完整的一段黄土斜坡上,所以将现在滑坡左右缘的斜坡视为原始地形,而地震滑坡的特征之一是滑动面大部或全部裸露,因而无需勘探,只要进行地形剖面的测量即可得到进行反演所需的计算剖面。

根据取自该滑坡附近的原状土的静、动强度试验结果,整理得图1中的静、动强度比关

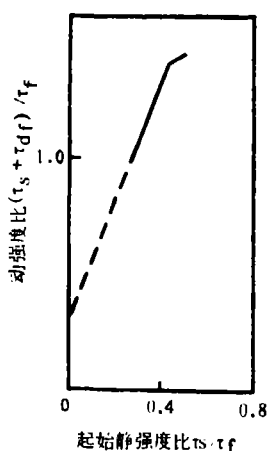


图1 $(\tau_s + \tau_{df}) / \tau_f$ 与 τ_s / τ_f 的关系

Fig. 1 Relationship between $(\tau_s + \tau_{df}) / \tau_f$ and τ_s / τ_f

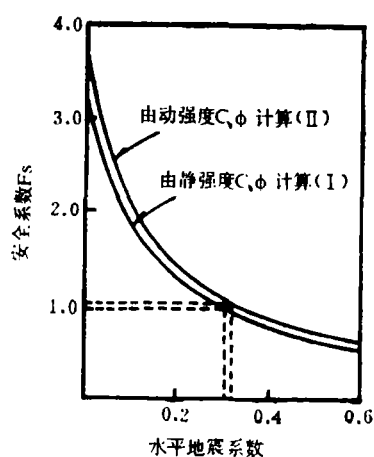


图2 F_s 与 K_h 关系

Fig. 2 Relationship between F_s and K_h

系曲线。随后选取不同地震系数 K_h 计算出各地震力下的安全系数 F_s ，得图2中的曲线I。在 $K_h = 0$ 时，由曲线I可得 $F_{s0} = 3.3$ ，它的倒数即静强度比为0.3，在图1中与之相对应的动强度比为1.06，此值表明在地震荷载下该滑坡的下述由静强度计算得到的安全系数应扩大1.06倍。而扩大后的 $F_s' = 1$ 对应的水平地震系数为0.3，这便是滑坡失稳的临界地震系数。

为了验证这种确定地震系数方法的可行性，在进行上述计算之后，作者又利用动强度试验所得到的 C_d 、 ϕ_d 值计算了不同地震系数下滑坡的稳定情况，结果见图2中曲线II。由曲线II可得到造成失稳的临界地震系数为0.32，与前述方法所得的0.3基本一致。因此在利用准静力法进行地震滑坡稳定性分析中用静、动强度比关系来预估地震系数的方法是可行的。

4. 反演结果的讨论

回回川滑坡反演的结果表明：滑坡形成前的原始斜坡坡度极为平缓，又无地下水作用，安全系数为3.3，是一个相当稳定的斜坡。而在地震力作用下根据临界地震系数法的分析结果，当 K_h 在0.3—0.32时，即相当于地震烈度8度强或9度弱时就产生滑动。回回川滑坡位于海原地震的10度区，实际地震力远大于临界地震系数，所以黄土层呈粉碎性破坏，产生突然滑动且土体滑出很远而使滑动面裸露。滑动以后的滑坡体比地震前的斜坡具有更大的安全系数，若要滑动必须给一个比原来更大的地震力时才能产生新的滑动，海原大震后再没有经受与它相近或比它更大震级的地震，所以70年来滑坡相当稳定，一直保留着原始形态。

综上所述，反演的结果检验和论证了回回川滑坡的成因特征。它可作为黄土地震滑坡的判断标志，以便与重力滑坡相区分，这将有助于黄土地震灾害及其预测的研究。

结 论

1. 在国产动三轴仪上做输入随机地震荷载的不规则波强度试验并将其参数用于地震滑坡的稳定性分析中，使分析结果更符合实际，这在国内尚不多见。

2.在准静力法基础上采用求解临界地震系数的斜坡稳定性分析具有简易、切合实际的特点,它可以实现静力、动力法对比,适宜于黄土地震滑坡灾害预测中应用。

3.通过对地震滑坡的反演,对其宏观成因特征得到了论证,说明这些特征可以作为黄土地震滑坡的判别标志。

参 考 文 献

- [1] Zhang Zhenzhong, Duan Ruwen, Zheng Hengli, Forming Dynamic Mechanism Loess Seismic Landslide, In Proceedings of the Lanzhou Field Workshop on Loess Geomorphological Processes and Hazards (Planning Publish), 1989.
- [2] 张克靖、谢君斐,土动力学,地震出版社,1989.
- [3] S. Yasuda, Dynamic Soil Properties of Weathered Pumice on Mt. ONTAKE in Japan, In Proceedings of ICEPRS'88, PP753-758, 1988.

APPLICATION OF LOESS STRENGTH PARAMETERS UNDER RANDOM VIBRATION IN ANALYSIS OF SEISMIC LANDSLIDES

Zhang Zenzhong, Zheng Hengli, Wang Lanmin
(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

Abstract

Loess seismic landslides are usually the most outstanding and serious disasters type in disaster area of earthquakes. To seek for a method of predicting the earthquake disasters, the authors made a study of seismic stability analysis on the typical Huihui Chuan loess seismic landslide in Xiji county with 10 degree intensity of the great Haiyuan earthquake in 1920. In order to conform the analysis result to reality, the parameters gained from strength tests on dynamic triaxial apparatus by an irregular wave of random seismic loading was used. In the stability analysis, a method of solving critical seismic coefficient was adopted. The result of inverting the landslide is coincident with reality. For clarifying the forming rules and the stability analysis of loess seismic landslides, this paper provides a more accurate method which is more conformable to reality. This paper brings it forth new ideas to apply strength parameters under random vibration and the method of stability analysis.