



滑坡稳定性评价中地震作用力计算的讨论^①

黄强盛, 夏旺民

(中交第一公路勘察设计研究院, 陕西 西安, 710075)

摘要:阐述了目前国内外在滑坡地震稳定性评价方面的理论研究成果和实际应用情况, 指出地质矿产行业规范在采用静力法计算地震力时没有乘以0.25的综合影响系数, 和其它规范的差别是巨大的。分析后认为这个规定是值得商榷的。最后根据宏观震害现象提出易引起滑坡的地质情况并对其进行分析, 为滑坡治理工程设计和以后的规范修编提供了方法和思路。

关键词:地震力计算; 静力法; 综合影响系数; 宏观震害调查

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2013)01-0104-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.01.0104

Discussion of the Earthquake Force Calculation in Landslide Stability Evaluation

HUANG Qiang-sheng, XIA Wang-min

(CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xian, Shaanxi 710075, China)

Abstract: Domestic and foreign currently research and practical application of the landslide stability evaluation theory was described in the paper. Compared the four norms about the earthquake force calculation that the geology and mineral resources industry norms which calculate the seismic forces in the static method is no influence coefficient multiplied by 0.25, which has enormous difference to the other norms, So this provision in the norms is debatable by many examples analysis. Finally, according to the Macro earthquake damage phenomenon the geological situation which cause landslide was put forward and analyzed, the methods and ideas for landslide control engineering design and specification revision were put forward.

Key words: norms; The earthquake force calculation; Comprehensive effect coefficient; Macro earthquake damage survey

0 引言

我国70%的国土为山区,且地形地质条件复杂,是世界上滑坡灾害比较严重的国家之一。同时我国地处世界上两条最活跃的地震带之间,地震分布广泛,破坏性地震几乎遍布各省,尤以西部地区地震活动强,频度高。

地震力是滑坡稳定性评价与计算力系中的重要作用力,因此我国有关岩土工程的几个主要规范皆规定在滑坡的稳定性评价和剩余下滑力计算时都需对地震工况予以考虑^[1]。

在国土资源地质灾害领域从事滑坡稳定性评价

① 收稿日期:2012-06-20

作者简介:黄强盛(1968—),男(汉族),陕西高陵人,高工,主要从事公路地质灾害防治方面的生产与研究。E-mail:511033789@qq.com.

和治理工程设计时,却发现该行业的《滑坡防治工程勘察规范》和《滑坡防治工程设计与施工技术规范》在滑坡稳定性评价和剩余下滑力计算中关于地震力计算的规定,与其它行业的规定相差甚大,与实际情况存在一些矛盾之处,给具体设计工作带来很大困难。本文以实际工程设计方面的需要出发,从当前国内外对此的研究程度和震后宏观调查及分析入手,对此差别做一分析探讨,提出商榷的理由和改进的建议。

1 滑坡地震稳定性评价方法及其局限性评价

目前关于滑坡地震稳定性评价方法的研究,国内外主要有静力法、滑块分析法、数值模拟法和试验法及概率分析方法^[2-3]。

静力法自 Terzaghi 首次将其应用于边坡地震稳定性分析以来,因其简便而得到大量应用。静力法实质上是将地震动的作用简化为水平、竖直方向的恒定加速度作用,并施加在潜在不稳定的滑体重心上,加速度的作用方向取为最不利于滑坡稳定的方向,将地震所产生的惯性力作为静力作用在边坡潜在不稳定滑体上,根据极限平衡理论,便可求出边坡的抗震安全系数。这个分析实质上与静力稳定性分析完全相同,只是添加了一个反映地震作用的地震力。

滑块分析法主要是将有限滑动位移法的思路引入到对滑坡动力稳定性的分析,提出了滑坡块体滑动的动力学方法,根据输入时程,可以求得各个时间间隔上的块体相对于基座的加速度、速度和位移。

数值模拟法出现在 20 世纪 90 年代中后期,伴随着计算机技术的发展有限元法及其它数值模拟法在滑坡地震稳定性分析中开始应用;目前对边坡地震稳定性分析常采用的数值方法有有限元法、离散元法和快速拉格朗日元法,对于边坡的稳定性评价所采用的判定指标有安全系数和永久位移两种,国内以安全系数为主,国外以永久位移为主。

试验法是用试验的手段来研究滑坡在不同地震动作用下的稳定性状况,就试验手段和原理不同,可以分为振动台试验和离心机试验两大类。

概率分析方法考虑在边坡地震稳定性分析中存在很多不确定性因素,从概率随机性的角度分析研究问题的。

绝大部分试验法的地震动输入为简谐波,且模型简单,和实际复杂的地震波相差较大。概率分析

方法由于研究工作开展得较晚,成果较少,有大量的问题需要深入研究。滑块分析法未考虑地震过程中滑面强度和孔隙水压的变化,其动摩擦系数等参数难以获取,求解结果难以和长期实践应用中的稳定系数或滑坡推力等联系起来。数值模拟法中有提出用动力等效值法来确定边坡安全系数的,有提出用最小动力安全系数作为评价指标的,有提出用平均安全系数作为评价指标的。目前所提出的几种指标中最小动力安全系数最安全,但边坡瞬间小于某一安全系数,不一定失稳,因此用最小动力安全系数显然是不合适的。平均安全系数可能会高估边坡的整体稳定性,给工程留下潜在的危害。关于用动力等效值法确定安全系数和最小平均安全系数有待商榷,且缺乏明显的物理意义,并未与工程风险相联系。

静力法简单实用,国内外在边坡地震稳定性分析中应用得最为广泛,积累了大量的工程经验,并纳入了相关规范。沈珠江等指出:静力法的缺点是十分明显的,它完全无视地震加速度时空分布的不均匀性和方向性,即(1)实际地震惯性力不是永久不变的,也不是单向的,而是在量级上和方向上有快速的波动;(2)即使边坡的稳定性系数暂时小于 1,不一定会导致边坡的整体失稳,而只会导致边坡产生一定的永久位移;(3)地震加速度的方向和滑坡的滑动方向常有一个夹角。而最主要的是,实践证明:用静力法设计往往低估含易液化土边坡破坏的可能性,而对无液化可能的边坡,则往往高估其破坏的可能性。通常,地震动特性用峰值、频谱和持时三要素来描述,静力法的根本缺陷是未能考虑地震动的频谱特性和持时的影响。

从前述可知,数值模拟法、滑块分析法、试验法和概率分析法皆处在理论探讨阶段,工程设计上应用甚少,还有许多问题有待深入研究。同时考虑边(滑)坡由于岩土性质、地层结构及含水类型等有关自振特性的情况十分复杂,所以对边(滑)坡目前世界各国仍采用静力法计算地震作用^[4-5]。

2 国内有关规范地震力计算差别

2.1 几本规范的差别

目前国内铁路工程抗震设计规范(GBJ111—87)^[6]及在 2009 年 6 月 26 日进行局部修订的(GB 50111—2006)、公路工程抗震设计规范(JTJ 004—89)^[7]、《滑坡防治工程勘察规范》(DZ/T0218—2006)和《滑坡防治工程设计与施工技术规范》(DZ

/T0219-2006)^[8]、《三峡库区三期地质灾害防治工程设计技术要求》(2004,12)都对滑坡地震稳定性评价进行了规定。对比这几个规范在关于地震力计算方面的规定,除前期的规范采用水平地震系数,后期的规范采用地震动峰值加速度这个比较成熟的新概念外,均采用静力法计算地震力,且只考虑水平地震力。由于实际地震加速度的方向并非最不利于滑坡稳定的方向,同时地震力的大小不是永久不变的,也不是单向的,而是在量级上和方向上有快速的波动和转换,再加上一次地震作用的时间本身就很短,所以滑坡某一瞬时的稳定性系数小于1,并不会导致滑坡的整体失稳。这样就需要在地震动峰值加速度前乘一个综合系数予以调整。这个综合系数在铁路抗震设计规范、公路抗震设计规范、水工建筑抗震设计规范及三峡库区三期地质灾害防治工程设计技术要求中皆为0.25(根据工程类别和重要性再用系数修正)。关于这个综合系数的值,铁路抗震设计规范局部修改条文说明中介绍主要是根据大量宏观震害调查,同时参考1981年前苏联《地震区建筑设计规范》的水平地震修正系数而来的,从前苏联这个规范的图表中可以查到其对这个综合系数的取值也是0.25。

而地质矿产行业标准《滑坡防治工程勘查规范》(DZ/T0218-2006)和《滑坡防治工程设计与施工技术规范》(DZ/T0219-2006)中在采用静力法计算地震力时,没有乘以0.25,计算的地震力是其它规范的4倍。而这4倍其它规范的地震力对于滑坡稳定性评价和剩余下滑力大小的影响是巨大的,常是结论的改变或数倍投资的增加。

从理论上讲,这个水平地震综合修正系数应该从总体上实现这样一个功能:即对由于采用静力法而做的一些前提假设,由此进行计算而与宏观震害的差别进行修正。笔者在公路行业多年的滑坡治理设计中注意到:当公路等级的重要性系数为1时(即不进行重要性修正),按路基规范规定考虑地震状况的安全系数比自然状况低0.1左右,这时对7度烈度区,自然状况下的滑坡推力大于地震状况下的滑坡推力,对8度及以上烈度区,自然状况下的滑坡推力小于地震状况下的滑坡推力(工程设计的依据按地震状况下的推力考虑)。这和铁路抗震设计规范修编组所做的震后宏观调查资料是一致的,即除特殊情况外,7度区一般不发生边坡滑动或垮塌,很少发生滑坡滑动,8度区出现边坡垮塌,滑坡滑动增多。

2.1 地震力计算差别实例

表有是青海玉树地震后一个局部复活的老滑坡按不同规范的计算情况。

表1 主轴断面按不同规范计算时的稳定系数和剩余下滑力(地震动峰值加速度取0.15 g)

计算值	工况1 (自重)	工况2(自重+地震)		
		按公路规范,重要性系数取1.7	按公路规范,重要性系数取1.0	按地矿行业标准
滑坡稳定系数	1.207	1.047	1.109	0.884
剩余下滑力/[kN·m ⁻¹]	3 105	1 856	0	10 161

注:(1)工况1是安全系数为1.30时的剩余下滑力值,工况2是安全系数为1.10时的剩余下滑力值;

(2)工况1所有规范的计算结果是一样的,考虑地震力时按公路规范和按铁路规范及按三峡库区技术要求总体上是一样的,只是重要性系数取值略有不同。

从计算结果可以看出:

(1)从稳定性评价角度,按地矿行业规范规定,自然工况(工况1)下稳定系数大于1.15的滑坡处于稳定状态,该滑坡在工况1时稳定系数为1.207,处于稳定状态;在工况2(考虑地震力)时稳定系数小于1,处于不稳定状态,跳越了欠稳定状态。

(2)从治理工程设计的角度,当工况1的设计安全系数取1.3时,剩余下滑力为3105 kN/m。按地矿行业规范规定,当滑坡防治工程等级为Ⅰ级时,工况2的设计安全系数取1.10,此时剩余下滑力为10 161 kN/m,这是一个一般抗滑工程难以抵挡的巨大推力,即使能抵挡,工程投资将会从两千多万元猛增到近亿元。

一个在自然工况下处于稳定状态的滑坡,在地震工况下的剩余下滑力超过10 000 kN/m,造成这个结论的规定值得商榷。对于大型滑坡,当其防治工程等级较高时,都存在这种情况。可以推测,假如地震动峰值加速度为0.20 g或0.30 g的某处类似滑坡,其计算结果将更加离奇。

3 易引起滑坡的两个宏观震害现象及分析

3.1 地震液化易引起滑坡

1972—1976年期间,我国发生了四川炉霍、云南昭通、四川松潘、河北唐山等数次强烈地震,触发了大量的滑坡,中国科学院成都地理所主持开展了地震滑坡的专题研究,研究结果表明^[9],在一般情况下,地震触发滑坡的下限是在烈度6度区,大多数的滑坡发生在30°~50°的斜坡上,在适宜的地质条件

下,当地下水位埋深小于6 m,尤其在0~4 m之间时,地震会造成孔隙水压力突然增加而引起砂土液化,进而引起液化滑坡。

液化滑坡的机理是这样的:地震作用下的饱和土常有振动变密的趋势,若排水能力与体积变密的趋势不相称,来不及排水以实现土体积的收缩,则土中的孔隙水压就要上升,土粒间的有效应力相应减少;当有效应力减至零时,土粒间就没有力的传递,土骨架散开,土粒悬浮于水,土体变成可流动的悬浊液从而完全液化。实际上液化引起滑坡时有效应力还没有减至零,当有效强度急剧降低后极易在斜坡地带引发液化滑坡。

在地震烈度为Ⅷ度及Ⅸ度以下时,通常只有密实度不够的饱和砂土与粉土液化,但在条件合适时也不能排除其他类土(如黄土、含砂砾石等)出现液化的可能。

3.2 土岩双层结构斜坡易引起滑坡

云南昭通地震和通海地震及5.12汶川地震的宏观调查表明:当岩层上覆盖坡积层或坚硬岩石上覆盖松散碎石类土层时,受到地震振动作用往往沿着基岩面发生滑动或大型坍塌,不仅发生频率高,而且震害严重。如1970年云南通海地震时,Ⅷ度区的晋元公路K108+550~K109+000段沿着库南河右岸陡坡以挖方通过,边坡上部为松散碎石土坡积层,下部是震旦系砂岩,地震时上部坡积层下滑掩埋公路;又如2008年5.12汶川地震中,广岳铁路K38~K55线路对面公路基本被坡面溜塌物质掩埋,交通中断,有的坍塌体堵塞河流,直接危害路基稳定。

可以从以下几点理解:

(1)这种上部为松散层、下伏基岩的坡体结构本身常为稳定性较差之坡体结构。土石界面的坡度常常大于松散层之稳定休止角,加上下伏基岩多为相对隔水层,地下水在界面附近聚集浸泡,使得土石界面的强度降低成为软弱层,形成潜在滑面。

(2)上土下石的坡体结构,使得地震波的强度在这里得到放大。我们知道,地震波从场地下的基岩经过土层向地面传递时,地震波一经传入土层立即得到增加,哪怕地下深处不很强的震动,等传至地面后常成为相当强的震动,这就是放大效应。1968年日本东松山地震时的实测结果表明这种放大作用有时能达2~3倍。同时由于基岩和土层的卓越周期相差较大。基岩中的地震波和土层中的地震波就会产生相位差,由于地震发生的总时间短,因而土石界面上的相位差最大,导致该界面上的加速度差值

最大,即地震力最大。

(3)由于下伏基岩多为相对隔水层,地下水在界面以上附近相对聚集^[10]。即使覆盖层为碎石土,其常含有大量的砂类土,在地震波传来时常会由于孔隙水压力增大而部分液化。

4 结论

(1)近年来的地震活动表明我国地震活动正趋于活跃,在滑坡的稳定性评价和剩余下滑力计算中对地震工况的考虑十分必要。

(2)滑坡地震稳定性评价方法中,数值模拟法、滑块分析法、试验法和概率分析法皆处在理论探讨阶段,工程设计上应用甚少,还有许多问题有待深入研究。同时考虑边(滑)坡由于岩土性质、地层结构及含水类型等有关自振特性的情况十分复杂,所以对边(滑)坡目前世界各国仍采用静力法计算地震作用。

(3)由于实际地震加速度的方向并非最不利于滑坡稳定的方向,同时地震力的大小不是永久不变的,也不是单向的,而是在量级上和方向上有快速的波动和转换,再加上一次地震作用的时间本身就很短,所以滑坡某一瞬时的稳定性系数小于1,并不会导致滑坡的整体失稳。这样就需要在地震动峰值加速度前乘一个综合系数予以调整。这个综合系数从国内外的大部分规范规定和宏观震害调查结果分析,0.25是合适的。而地质矿产行业标准《滑坡防治工程勘查规范》(DZ/T0218-2006)和《滑坡防治工程设计与施工技术规范》(DZ/T0219-2006)中在采用静力法计算地震力时,没有乘以0.25,计算的地震力是其它规范的4倍,这个规定是值得商榷的。

(4)地震液化易引起滑坡,土岩双层结构斜坡易引起滑坡,这些由宏观震害调查发现的规律目前还没有(或没有充分)体现在滑坡防治工程设计相关的规范中,建议在滑坡勘察评价和防治工程设计相关规范中增加此方面的规定,做到评价准确全面,治理工程经济合理。

[参考文献]

- [1] 王恭先. 王恭先滑坡学与滑坡防治技术文集[M]. 北京:人民交通出版社, 2010.
WANG Gong-xian. Wang Gongxian Collected Works of Prevention and Control Technology on Landslide and Landslide [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [2] 黄润秋. 汶川地震地质灾害研究[M]. 北京:科学出版社, 2009.

- HUANG Run-qiu, Study on Geological Disasters in Wenchuan Earthquake[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [3] 黄润秋. 汶川大地震触发的地震效应分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19-28.
- HUANG Run-qiu, Analysis of Seismic Effect Triggered by the Great Wenchuan Earthquake[J]. Journal of engineering geology, 2009, 17(1): 19-28.
- [4] 胡广韬. 滑坡动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- HU Guang-tao. Landslide Dynamics[M]. Beijing: Geological Press, 1995.
- [5] 刘红帅, 薄景山, 刘德东. 岩土边坡地震稳定性评价方法研究进展[J]. 防灾科技学院学报, 2007, 9(3): 1-8.
- LIU Hong-shuai, BO Jing-shan, LIU De-dong. Advances in Evaluation Methods for the Seismic Stability of Rock Slope[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2007, 9(3): 1-8.
- [6] 铁道部. (GBJ111-87) 铁路工程抗震设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社. 1988.
- Ministry of Railway(GBJ111-87), Code for Seismic Design of Railway Engineering[S]. Beijing: Chinese Railway Press, 1988.
- [7] 交通部. (JTJ004-89) 公路工程抗震设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社. 1990.
- Ministry of Communications(JTJ004-89). Code for Seismic Design of Highway Engineering[S]. Beijing: China Communications Press, 1990.
- [8] 国土资源部. (DZ/T0219-2006) 滑坡防治工程设计与施工技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社. 2006.
- Ministry of Land and Resources(DZ/T0219-2006). Technical Specification for Design and Construction of the Landslide Control Project[S]. Beijing: China Standards Press, 2006.
- [9] 杨庆华, 姚令侃, 邱燕玲, 等. 高烈度地震区岩土体边坡崩塌动力学特性研究[J]. 西北地震学报, 2011, 33(1): 33-39.
- YANG Qing-hua, YAO Ling-kan, QIU Yan-ling, et al. Study on Seismic Zone of Rock and Soil Slope Collapse Dynamics Characteristic of High intensity[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(01): 33-39.
- [10] 龚文俊, 李明永, 吴志坚. 降雨和地震耦合作用对滑坡稳定性的影响——以甘肃西和Ⅲ号滑坡为例[J]. 西北地震学报, 2012, 34(2): 161-166.
- GONG Wen-jun, LI Ming-yong, WU Zhi-jian. The Influence of Rainfall and the Coupling Effect of Earthquake on Landslide Stability——Taking No. 3 Landslide in Xihe County Gansu As a Case Study[J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(02): 161-166.