

DOI: 10.11779/CJGE201811016

土质边坡地震稳定性状态判定方法研究

张江伟¹, 李小军², 王晓明¹, 迟明杰², 王玉石²

(1. 河北地质大学勘查技术与工程学院, 河北 石家庄 050031; 2. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

摘要: 基于有限元强度折减法, 对地震作用下土质边坡稳定性状态判定方法进行了研究。探讨了地震作用下坡体内部等效塑性应变区贯通率的计算方法, 并利用有限元计算和统计分析方法建立了地震作用下坡体内部等效塑性应变区贯通率与边坡动力安全系数的对应关系。根据《建筑边坡工程技术规范》(GB50330—2013)中边坡稳定性状态与边坡安全系数的对应关系, 从而实现了利用坡体内部等效塑性应变区贯通率来判别边坡地震稳定性状态的方法。结果表明: 当等效塑性应变区贯通率 $K=100\%$ 时对应边坡稳定性状态为不稳定, 当等效塑性应变区贯通率 $100\% > K \geq 90\%$ 时对应边坡稳定性状态为欠稳定, 等效塑性应变区贯通率 $90\% > K \geq 85\%$ 时对应边坡稳定性状态为基本稳定, 等效塑性应变区贯通率 $K < 85\%$ 时对应边坡稳定性状态为稳定。研究结果对于震后边坡稳定性的快速评价将具有重要的借鉴意义。

关键词: 地震; 地震响应; 动力有限元; 土质边坡; 安全评价

中图分类号: TU443

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2018)11-2096-07

作者简介: 张江伟(1988-), 男, 博士, 讲师, 主要从事地震地质灾害方面的研究工作。E-mail: zjwok1988@sina.com。

Method for judging seismic stability state of soil slopes

ZHANG Jiang-wei¹, LI Xiao-jun², WANG Xiao-ming¹, CHI Ming-jie², WANG Yu-shi²

(1. College of Prospecting Technology and Engineering, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China; 2. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the strength reduction FEM, the method for judging the stability state of soil slopes under earthquake action is analyzed. The length ratio of equivalent plastic strain zone in the slope is defined, and the corresponding relationship between the length ratio of equivalent plastic strain zone in the slope under earthquake and the safety factor is established through statistical analysis. Then, according to the corresponding relationship between the stability and safety factor of slopes in the Chinese national standard “Technical code for building slope engineering” (GB50330—2013), the method for judging the stability of the slopes under earthquake by the length ratio of equivalent plastic strain zone is realized. The results show that when the length ratio of equivalent plastic strain zone is 100%, the slope is instable; when it is between 90% and 100%, the slope is understable; when it is between 85% and 90%, the slope is basically stable; and when it is below 85%, the slope is stable. The results may have a great reference value to the rapid evaluation work of seismic hazards of slopes.

Key words: earthquake; seismic response; dynamic FEM; soil slope; safety evaluation

0 引言

中国作为一个多山且地震频发的国家, 边坡的地震稳定性评价问题就显得尤为重要。当利用目前岩土界广泛运用的有限元数值模拟方法分析边坡在地震作用下的稳定性状态时, 通常采用强度折减法来实现。强度折减法最初是由英国科学家 Zienkiewicz 等^[1]于 20 世纪 70 年代提出, 即通过降低岩土材料的强度参数来计算岩土工程的安全系数。1999 年, Griffith 等^[2]分别采用有限元强度折减法和传统解析法分析计算边坡稳定性安全系数, 结果显示两种方法得到的安全系数相接近, 证实了有限元强度折减法的可用性。随后又有大量国外的学者对其进行了研究推广, 如 Ugai^[3]、

Matsui 等^[4]、Duncan^[5]和 Dawson 等^[6]。中国对有限元强度折减法的研究工作起步较晚, 但是也收获了大量的研究成果, 例如郑颖人等^[7-8]、赵尚毅等^[9-10]、连镇营等^[11]、栾茂田等^[12]、陈国庆等^[13]、蒋水华等^[14]、袁葳等^[15]、史卜涛等^[16]都对强度折减法做了大量深入的研究和扩展工作。经过几十年的发展, 强度折减法已被学术界和工程界所接受和认可, 并广泛地运用到边坡稳定性分析中。

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC1500400); 国家自然科学基金项目 (51639006); 河北省高等学校科学技术研究项目 (QN2018242)
收稿日期: 2018-04-17

然而在动力问题中,地震作为一种随时间随机变化的持续荷载作用,在完全采用强度折减法求解边坡的动力安全系数时,折减时会产生巨大的重复性工作,这样便不具有高效性。因此有必要找一种新的途径来快速而且准确地评价边坡的地震稳定性状态。本文基于有限元数值模拟法,对土质边坡地震作用下稳定性状态判定方法进行了研究。定义了等效塑性应变区贯通率的概念,建立了等效塑性应变区贯通率与边坡安全系数的对应关系,实现了利用等效塑性应变区贯通率作为边坡稳定性判断依据的方法。

1 等效塑性应变区贯通率定义

塑性应变是指弹塑性材料在加载又卸载后不能恢复的那部分永久应变,土体材料的屈服破坏与其在荷载作用下的塑性应变大小有着直接的关系^[17]。郑颖人等^[18]也曾指出,等效塑性区出现贯通是边坡整体失稳必然呈现的现象。在有限元强度折减法中,塑性区或者等效塑性应变带贯通整个坡体是作为边坡失稳的重要判据之一^[19]。因此,在地震持续作用的过程中,塑性应变的累积程度是判断边坡稳定性的关键。本文基于有限元计算边坡稳定性方法,提出利用地震作用下坡体等效塑性应变区贯通率来判别边坡地震的稳定性状态的方法,这样便无需通过多次折减土体强度参数来得到安全系数,因为边坡安全系数只是评价边坡稳定性的一种指标,而最终所关心的是边坡在地震作用下的稳定程度。

等效塑性应变 (equivalent plastic strain) 是指整个加载变形过程中塑性应变的累积结果,可以充分反映地震动力荷载的累积作用。等效塑性应变区贯通率定义为滑坡体内部大于 1×10^{-2} 的等效塑性应变的贯通长度占总滑动带长度的百分比,用 K 来表示。具体计算过程为:基于有限元强度折减法,当折减系数取 1 时,计算得到坡体在地震作用下超过 1×10^{-2} 的等效塑性应变区的长度 L_0 ,当折减系数取一较大值时(可据经验取值使得坡体发生失稳破坏),计算得到贯通至坡顶的等效塑性应变区的总长度记为 L ,则边坡等效塑性应变区贯通率可表示为 $K=L_0/L\times100\%$ 。如图 1 所示。

2 等效塑性应变区贯通率与安全系数的关系

2.1 计算模型及条件

为了研究等效塑性应变区贯通率与安全系数的关系,建立一个均质边坡模型为算例。基于 ABAQUS 有限元软件,采用有限元强度折减法计算不同地震作

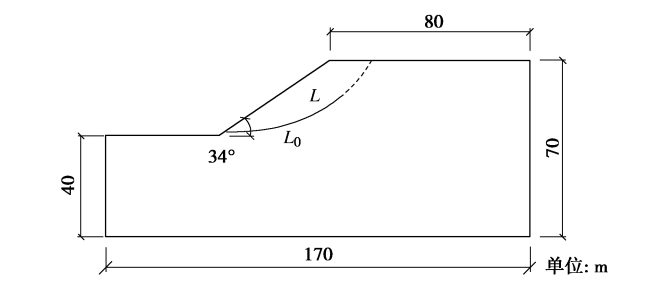


图 1 等效塑性应变区贯通率计算示意图

Fig. 1 Calculation of length ratio of equivalent plastic strain zone

用下的边坡稳定性安全系数,并对应计算此时坡体内部的等效塑性应变区贯通率 K ,统计分析两者的对应关系,最终建立等效塑性应变区贯通率 K 与边坡地震稳定性状态的对应关系。计算模型的有限元网格如图 2 所示,网格尺寸为 $1.5\sim3.0\text{ m}$,两侧采用黏弹性边界,底部采用静态边界。 G_1, G_2 为模型中布设的关键位移观测点。本构模型为理想弹塑性本构模型,屈服准则采用莫尔-库仑强度准则。模型几何尺寸如图 3 所示,计算参数见表 1。

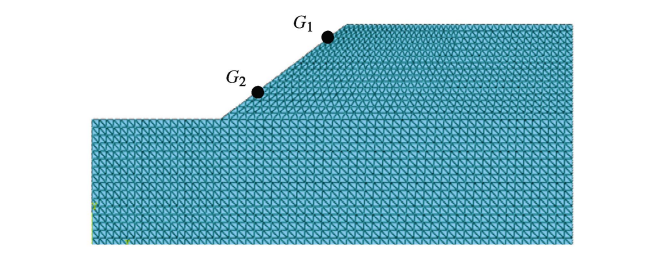


图 2 边坡模型有限元网格示意图

Fig. 2 Finite element model

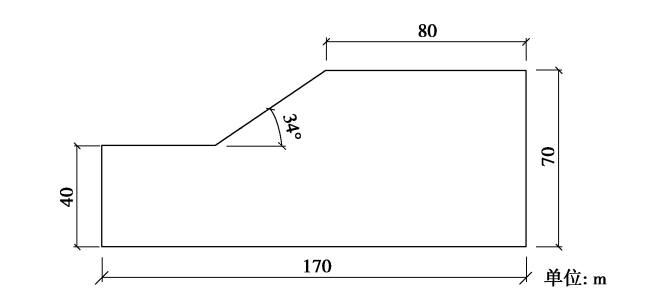


图 3 边坡模型尺寸

Fig. 3 Sizes of slope model

表 1 边坡土体参数

Table 1 Parameters for slope soils

密度 /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量 /GPa	剪切波速 /($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	泊松比	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /($^\circ$)
2170	1.108	118.4	0.3	24.5	28

2.2 有限元强度折减法

边坡稳定安全系数是用来评价边坡稳定性的指标,定义为坡体岩土体提供的抗滑能力与导致坡体破坏的

作用能力之比。在利用有限元强度折减法求解地震作用下边坡稳定性安全系数时，岩土体的强度参数按照折减系数 ω 逐渐降低，直至边坡发生破坏，此时的折减系数便是边坡稳定性安全系数，并以此作为评价地震作用下边坡稳定性状态的指标。

岩土体强度参数折减过程可表示为

$$c' = \frac{c}{\omega} \quad , \quad (1)$$

$$\tan \varphi' = \frac{\tan \varphi}{\omega} \quad , \quad (2)$$

式中， c ， φ 分别为岩土体的黏聚力和内摩擦角，经过折减系数 ω 折减后变为 c' 和 φ' ，分别为临界状态对应折减后的抗剪强度参数，可将其视为岩土体实际抗剪强度发挥时所对应的抗剪强度参数。

按照上述方法，将本模型土体强度参数按照折减系数即安全系数进行折减，折减后的参数见表 2。

表 2 土体强度参数的折减关系

Table 2 Reduction of strength parameters of soils

折减系数（安全系数）	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa
1.00	28.00	24.50
1.02	27.53	24.02
1.04	27.07	23.56
1.06	26.63	23.11
1.08	26.21	22.69
1.10	25.79	22.27
1.20	23.89	20.42
1.30	22.24	18.85
1.40	20.79	17.50

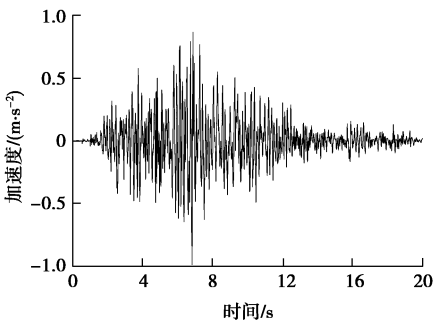
为充分研究分析等效塑性应变区贯通率 K 与边坡地震稳定性安全系数的对应关系，本文从太平洋地震工程研究中心数据库里选取了 10 组具有不同地震动特性的实际地震动记录，特征周期主要分布在 0.25~0.85 s，并分别将幅值调整为 0.1g，0.15g，0.2g，0.25g，0.3g，即共计算 50 个地震工况下的等效塑性应变区贯通率 K 与边坡地震稳定性安全系数，进而分析两者之间的关系。

图 4 列出地震动峰值加速度为 0.1g 时的各地震动加速度时程曲线。

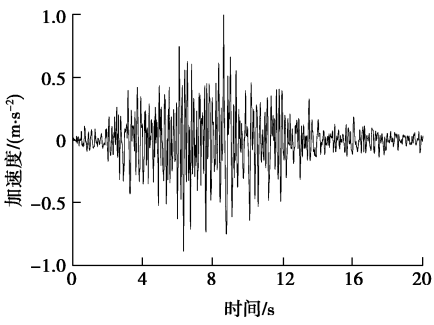
2.3 结果分析

利用有限元计算各种工况下边坡的地震动力稳定安全系数时，本文采用郑颖人等^[20]提出的滑体位移变化趋势结合计算是否收敛、塑性区是否贯通的方法来判断边坡是否失稳破坏。即在地震作用过程中，观察坡面关键点最终位移的发展趋势，如果继续陡然增大并计算不收敛，再伴随塑性区贯通则说明边坡处于失稳状态，如果坡面关键点最终位移保持不变或者变小

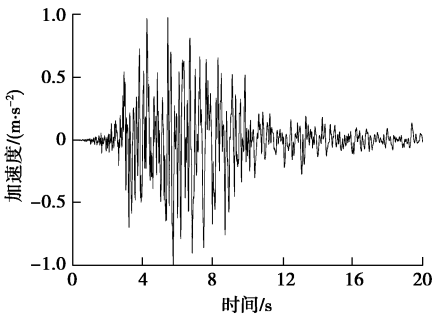
则说明边坡未处于失稳状态。



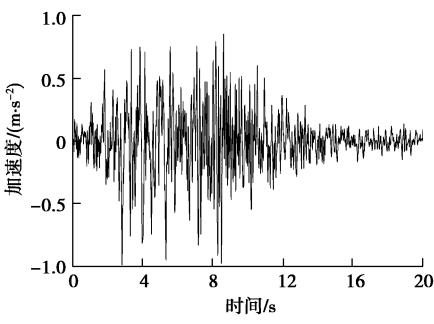
(a) 地震动M1



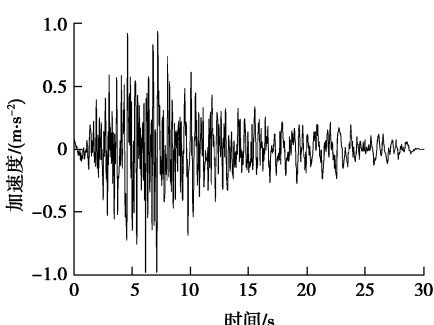
(b) 地震动M2



(c) 地震动M3



(d) 地震动M4



(e) 地震动M5

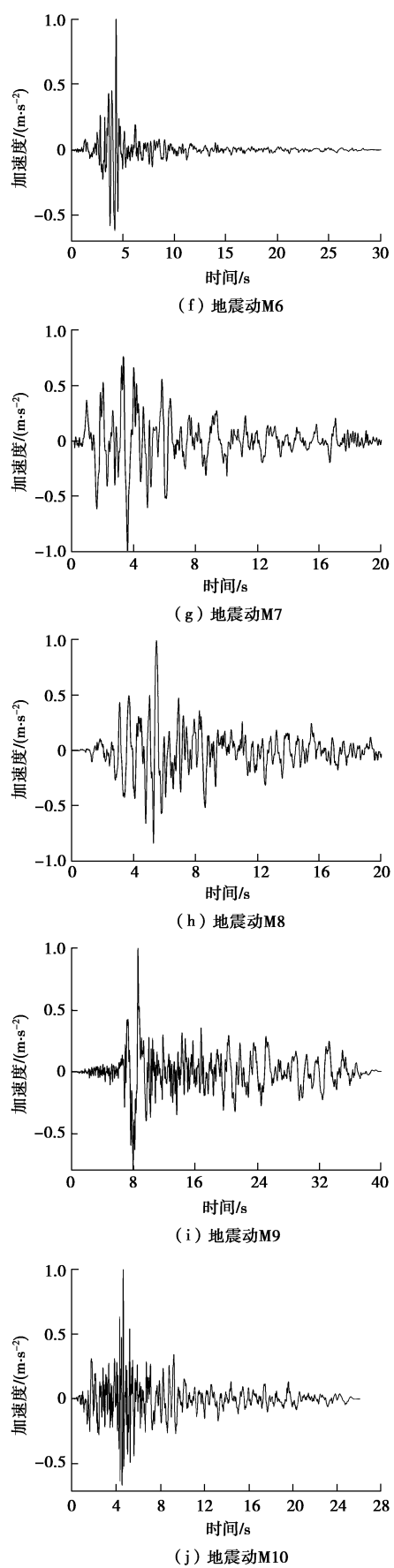


图 4 输入地震动加速度时程

Fig. 4 Time histories of input acceleration

下面以输入加速度峰值为 0.1g 的地震动 M1 时的

结果为例进行探讨分析。通过不断对边坡参数的折减并计算,提取当折减系数为 1.28 时坡面关键点的竖向位移曲线,如图 5 所示。由图 5 可知地震持续作用 19.98 s 后,曲线保持水平,说明此时坡体未处于失稳状态;当折减系数为 1.29 时,地震持续作用 19.98 s 后,关键点位移曲线在末期出现倾斜,如图 6 所示,并有持续增大、不能收敛的趋势,此时边坡的等效塑性应变云图见图 7,可以看到等效塑性应变区贯通率为 100%,说明坡体已经处于失稳状态。为此,可以认为此地震工况下边坡的地震安全系数为 1.28。

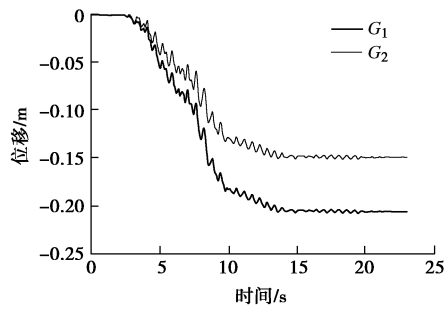


图 5 特征点位移时程曲线

Fig. 5 Displacement-time curves at observation points

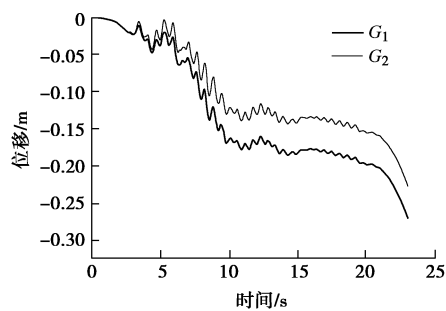


图 6 特征点位移时程曲线

Fig. 6 Displacement-time curves at observation points

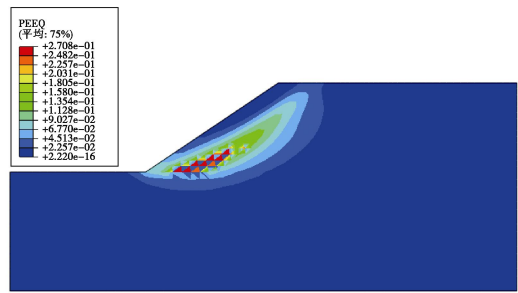


图 7 边坡等效塑性应变云图

Fig. 7 Nephogram of equivalent plastic strain

由得到的等效塑性应变云图可知,在边坡达到破坏临界状态时,大于 10^{-2} 量级的等效塑性应变不同程度地贯通了整个边坡体,所以也验证了上文中取大于 1×10^{-2} 作为等效塑性应变区贯通率定义的合理性。

得到边坡的地震安全系数后,为研究分析其与等

表 3 等效塑性应变区贯通率与安全系数

Table 3 Length ratios of equivalent plastic strain zone and safety factors

地震动类型	0.10g		0.15g		0.20g		0.25g		0.30g	
	K	F_s	K	F_s	K	F_s	K	F_s	K	F_s
M1	77.1	1.28	82.7	1.19	83.4	1.13	90.8	1.05	94.9	1.03
M2	72.1	1.31	81.4	1.22	82.9	1.18	87.9	1.12	90	1.04
M3	73.3	1.34	79.1	1.20	84.5	1.14	88.1	1.10	92.8	1.02
M4	80.9	1.19	85.6	1.14	89.0	1.09	93.5	1.03	100	<1
M5	69.5	1.42	74.5	1.30	79.4	1.18	85.2	1.14	89.7	1.08
M6	77.4	1.26	83.3	1.09	88.7	1.15	93.1	1.03	100	<1
M7	82.3	1.17	86.8	1.11	92.2	1.03	100	<1	100	<1
M8	79.2	1.19	83.7	1.16	90.8	1.05	93.7	1.02	100	<1
M9	70.8	1.32	78.3	1.18	87.9	1.10	92.4	1.04	96.8	1.01
M10	67.7	1.45	72.1	1.27	78.3	1.21	84.1	1.16	87.4	1.09

效塑性应变区贯通率的关系, 还需计算坡体在未折减时也即折减系数为 1 时的等效塑性应变区贯通率 K 。

图 8 为边坡在此地震工况下的等效塑性应变云图, 由图 7, 8 可计算得到边坡的等效塑性应变区贯通率为 77.1%。

将边坡稳定性状态分为稳定、基本稳定、欠稳定和 不稳定 4 种状态, 并与安全系数相对应, 见表 5。

表 5 边坡稳定性状态划分

Table 5 Classification of slope stability

边坡稳定性系数 F_s	$F_s < 1.00$	$1.00 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < F_{st}$	$F_s \geq F_{st}$
边坡稳定性状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

表中的 F_{st} 是根据边坡工程安全等级和边坡类型综合确定的安全系数, 取值范围在 1.05~1.35。文中 F_{st} 选用地震工况下的边坡工程等级为一级时的安全系数 1.15^[21]。于是, 综合表 4, 5 的内容, 就可以得到等效塑性应变区贯通率和地震作用下边坡稳定性状态的对应关系, 见表 6。

表 6 等效塑性应变区贯通率与边坡稳定性状态的关系

Table 6 Corresponding relations between length ratio of equivalent plastic strain zone and slope stability

等效塑性应变区贯通率 K	$K=100\%$	$100\% > K \geq 90\%$	$90\% > K \geq 85\%$	$K < 85\%$
边坡稳定性状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

根据表 6, 即可通过地震作用下坡体等效塑性应变区贯通率 K 来评价边坡稳定性状态。

4 结 语

本文建立了等效塑性应变区贯通率 K 这一概念, 对其进行了定义, 利用有限元数值模拟法和统计分析方法研究了地震作用下坡体等效塑性应变区贯通率与边坡安全系数的对应关系, 再根据《建筑边坡工程技术规范》(GB50330—2013) 中规定的边坡稳定性状态与边坡安全系数的对应关系, 便实现了利用坡体内部等效塑性应变区贯通率来判别边坡地震稳定性状态的方法。

由计算结果可知, 在地震作用下, 当坡体等效塑

3 边坡地震稳定性状态的评价

《建筑边坡工程技术规范》(GB50330—2013)^[21]

图 8 边坡等效塑性应变云图

Fig. 8 Nephogram of equivalent plastic strain

通过上述计算分析, 便得到了在加速度峰值为 0.1g 时的地震动 M1 作用下边坡的安全系数和等效塑性应变区贯通率。同上述计算步骤, 可以分别计算得到其他地震工况的等效塑性应变区贯通率与安全系数, 并对应列于表 3 中。限于篇幅, 其他地震工况的计算分析过程在文中没有列出。

通过统计分析以上数据可以发现, 等效塑性应变区贯通率和边坡地震安全系数具有以下对应关系, 如表 4 所示。

表 4 等效塑性应变区贯通率与安全系数的对应关系

Table 4 Corresponding relations between length ratio of equivalent plastic strain zone and safety factor

等效塑性应变区贯通率 K	$K=100\%$	$100\% > K \geq 90\%$	$90\% > K \geq 85\%$	$K < 85\%$
边坡稳定性系数 F_s	$F_s < 1.00$	$1.00 \leq F_s < 1.05$	$1.05 \leq F_s < 1.15$	$F_s \geq 1.15$

性应变区贯通率 $K=100\%$ 时对应边坡稳定性状态为不稳定, 当等效塑性应变区贯通率 $100\% > K \geq 90\%$ 时对应边坡稳定性状态为欠稳定, 等效塑性应变区贯通率 $90\% > K \geq 85\%$ 时对应边坡稳定性状态为基本稳定, 等效塑性应变区贯通率 $K < 85\%$ 时对应边坡稳定性状态为稳定。

本文所建立的以边坡内部等效塑性应变区贯通率来判别边坡地震稳定性状态的方法避免了有限元折减法中折减多次的重复性工作, 大大地缩小了计算量。根据计算结果可以直接、快速地来判断边坡地震稳定性状态, 为震后边坡稳定性评价提供新路径。

需要指出的是, 本文所建立的方法是基于土坡在地震作用下发生整体剪切破坏的简化条件, 因此具有一定局限性, 今后有必要开展地震作用下边坡拉-剪破坏模式的稳定性评价方法研究。

参考文献:

- [1] ZIENKIEWICZ O C, HUMPHESON C, LEWIS R W. Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics[J]. Géotechnique, 1975, **25**(4): 671 - 689.
- [2] GRIFFITHS D V, LANE P A. Slope stability analysis by finite elements[J]. Géotechnique, 1999, **49**(3): 671 - 689.
- [3] UGAI K. A method of calculation of total factor of safety of slopes by Elasto-Plastic FEM[J]. Soils and Foundations, 1989, **29**(2): 190 - 195.
- [4] MATSUI T, SAN K C. Finite element slope stability analysis by shear strength reduction technique[J]. Soils and Foundations, 1992, **32**(1): 59 - 70.
- [5] DUNCAN J M. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1996, **122**(7): 577 - 596.
- [6] DAWSON E M, ROTH W H, DRESCHER A. Slope stability analysis by strength reduction[J]. Géotechnique, 1999, **49**(6): 835 - 840.
- [7] 郑颖人, 赵尚毅. 有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, **23**(19): 3381 - 3388. (ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi. Application of strength reduction FEM in soil and rock slope[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, **23**(19): 3381 - 3388. (in Chinese))
- [8] 郑颖人, 赵尚毅. 岩土工程极限分析有限元法及其应用[J]. 土木工程学报, 2005, **38**(1): 91 - 98, 104. (ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi. Limit state finite element method for geotechnical engineering analysis and its applications[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, **38**(1): 91 - 98, 104. (in Chinese))
- [9] 赵尚毅, 郑颖人, 时卫民, 等. 用有限元强度折减法求边坡稳定安全系数[J]. 岩土工程学报, 2002, **24**(3): 343 - 346. (ZHAO Shang-yi, ZHENG Ying-ren, Shi Wei-min, et al. Analysis on safety factor of slop by strength reduction FEM[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, **24**(3): 343 - 346. (in Chinese))
- [10] 赵尚毅, 郑颖人, 张玉芳. 极限分析有限元法讲座 II ——有限元强度折减法中边坡失稳的判据探讨[J]. 岩土力学, 2005, **26**(2): 332 - 336. (ZHAO Shang-yi, ZHEG Ying-ren, ZHANG Yu-fang. Study on slope failure criterion in strength reduction finite element method[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, **26**(2): 332 - 336.
- [11] 连镇营, 韩国城, 孔宪京, 等. 强度折减有限元法研究开挖边坡的稳定性[J]. 岩土工程学报, 2001, **23**(4): 407 - 411. (LIAN Zhen-ying, HAN Guo-cheng, KONG Xian-jing, et al. Stability analysis of excavation by strength reduction FEM[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, **23**(4): 407 - 411. (in Chinese))
- [12] 栾茂田, 武亚军, 年廷凯. 强度折减有限元法中边坡失稳的塑性区判据及其应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, **23**(3): 1 - 8. (LUAN Mao-tian, WU Ya-jun, NIAN Ting-kai, et al. A criterion for evaluating slope stability based on development of plastic zone by shear strength reduction FEM[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2003, **23**(3): 1 - 8. (in Chinese))
- [13] 陈国庆, 黄润秋, 石豫川, 等. 基于动态和整体强度折减法的边坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, **33**(2): 243 - 256. (CHEN Guo-qing, HUANG Run-qiu, SHI Yu-chuan, et al. Stability analysis of slope based on dynamic and whole strength reduction methods[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, **33**(2): 243 - 256. (in Chinese))
- [14] 蒋水华, 李典庆, 黎学优, 等. 锦屏一级水电站左岸坝肩边坡施工期高效三维可靠度分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, **34**(2): 349 - 361. (JIANG Shui-hua, LI Dian-qing, LI Xue-you, et al. Efficient three-dimensional reliability analysis of an abutment slope at the left bank of Jinping I Hydropower Station during construction[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, **34**(2): 349 - 361. (in Chinese))
- [15] 袁 葳, 常晓林, 段 寅, 等. 考虑抗剪强度参数空间变异性的边坡稳定性分析[J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2016, **47**(11): 3899 - 3908. (YUAN Wei, CHANG Xiao-lin,

- DUAN Yin, et al. Stability analysis of slope considering spatial variation of shear strength parameters[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2016, 47(11): 3899 - 3908. (in Chinese))
- [16] 史卜涛, 张云, 张巍. 边坡稳定性分析的物质点强度折减法[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(9): 1678 - 1684. (SHI Bu-tao, ZHANG Yun, ZHANG Wei. Strength reduction material point method for slope stability[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38(9): 1678 - 1684. (in Chinese))
- [17] 赵成刚, 白冰, 王运霞. 土力学原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 北京交通大学出版社, 2009. (ZHAO Cheng-gang, BAI Bing, WANG Yun-Xia. Fundamentals of soil mechanics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, Beijing Jiatong University Press, 2009. (in Chinese))
- [18] 郑颖人, 赵尚毅, 张鲁渝. 用有限元强度折减法进行边坡稳定性分析[J]. 中国工程科学, 2003, 10(4): 57 - 61. (ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi, ZHANG Lu-yu. Slope stability analysis by strength reduction FEM[J]. Engineering Science, 2003, 10(4): 57 - 61. (in Chinese))
- [19] 万少石, 年廷凯, 蒋景彩, 等. 边坡稳定强度折减有限元分析中的若干问题讨论[J]. 岩土力学, 2010, 31(7): 2283 - 2288, 2316. (WAN Shao-shi, NIAN Ting-kai, JIANG Jing-cai, et al. Discussion on several issues in slope stability analysis based on shear strength reduction finite element methods(SSR-FEM)[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(7): 2283 - 2288, 2316. (in Chinese))
- [20] 郑颖人, 赵尚毅, 李安洪, 等. 有限元极限分析法及其在边坡中应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011: 205 - 224. (ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi, LI An-hong, et al. FEM limit analysis and its application in slope engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2011: 205 - 224. (in Chinese))
- [21] GB50330—2013 建筑边坡工程技术规范[S]. 2013. (GB50330—2013 Technical code for building slope engineering[S]. 2013. (in Chinese))

第十五次中国岩石力学与工程学术年会第二十八分会场会议通知

第十五次中国岩石力学与工程学术年会分会将于2018年11月19日—22日在北京九华国际会展中心举行。总会由中国科学技术协会指导, 中国岩石力学与工程协会主办, 大会主题: 展示中国岩石力学与工程进展, 服务“一带一路”建设与发展。

大会内容包括学术报告、技术培训、工业展览和青年竞赛四个部分。学术报告邀请了国内外岩石力学与工程知名专家做特邀报告, 引领学科发展方向。举办的新技术培训, 进一步的提升中国岩石力学与工程领域技术水平, 促进行业技术进步。工业展览对新材料、新工艺、新仪器、新装备展览展示, 推动了创新成果转化和工业化应用。举办全国青年岩土力学与工程创新创业大赛, 将激励广大青年奋发向上、创业创新。

大会第二十八分会场由河北地质大学主办、河北建设勘察

研究院有限公司、美国科罗拉多大学、河北科技大学、中国兵器工业北方设计勘察院、中交河北土木工程有限公司和吉林大学等多个机构和部门协办。分会场主题为城市地下资源地下空间开发利用研讨会。

该分会场的会议议题: ①城市地下空间的合理开发利用; ②城市地下空间开发中的岩土工程问题; ③雄安新区的地热资源利用; ④城市地下空间开发中地下水资源利用; ⑤城市地下空间开发中岩溶地基勘查与处理。

投稿邮箱地址: Chinarock_2018@163.com。投稿论文可采用中文或英文, 中文来稿格式请参考《岩石力学与工程学报》论文格式, 英文来稿格式请上大会网站论文征集页面下载英文模版 (<http://chinarock2018.csrme.com/>)。

第十五次中国岩石力学与工程学术年会
第二十八分会场河北地质大学 供稿