

文章编号: 1000-7598-(2007) 03-0505-07

基于强度折减和重度增加的边坡破坏判据研究

徐卫亚¹, 肖 武²

(1. 河海大学 岩土工程研究所, 南京 210098; 2. 中南勘测设计研究院, 长沙 410014)

摘 要: 通过分析鸡鸣寺滑坡等典型滑坡变形监测数据, 总结了典型滑坡的变形破坏规律, 作为边坡破坏的判别标准, 并应用到基于强度折减和重度增加法的边坡稳定分析中。通过典型算例分析, 建议以变形变化趋势为边坡破坏判别标准, 并研究了强度折减法和重度增加法分析边坡稳定的可行性; 较全面地分析了影响计算精度的各种因素。结果表明, 采用的边坡破坏判别标准概念清晰、物理意义明确, 界定清晰。相比较而言, 强度折减法的可靠性和稳定性相对较好, 适用范围较广。

关 键 词: 岩石力学; 边坡稳定分析; 强度折减法; 重度增加法; 破坏判据

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

Study on slope failure criterion based on strength reduction and gravity increase method

XU Wei-ya¹, XIAO Wu²

(1. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Mid-South Design & Research Institute for Hydroelectric Projects, Changsha 410014, China)

Abstract: According to deformation observation data analysis of typical landslides, such as Jiming Temple landslide etc., the deformation failure mechanism is summarized; and then the mechanism is applied to slope stability analysis as the failure criterion by adopting strength reduction method and gravity increase method. By classical instances, the failure criterion based on deformation trend is suggested; various factors effecting computation accuracy are also analyzed; and at the same time, the reliability and stability of previous methods are demonstrated. The result indicates that the failure criterion has a clear concept, special physical meaning and distinct definition for slope stability analysis. By comparison, the precision and reliability on basis of strength reduction method is better, and can be applied to most slope stability analysis.

Key words: rock mechanics; slope stability analysis; strength reduction method; gravity increase method; failure criterion

1 引 言

边坡稳定分析方法种类繁多, 各种分析方法都有各自的特点和适用范围。近年来有限元法和有限差分法等数值分析方法在边坡稳定分析中应用广泛, 积累了不少宝贵的经验。有限单元法和有限差分法能够较好地模拟边坡真实的地形地质情况, 并能考虑岩土体的非线性本构关系, 适用任意复杂边界条件。然而传统的有限单元法和有限差分法虽然可通过找出最小安全系数来搜索滑裂面, 但需事先假定各安全系数对应的滑裂面。强度折减法和重度增加法则无需假定滑裂面, 可直接求解出工程所需的安全系数及滑裂面的几何形状和位置。然而如何

判断边坡是否达到临界破坏状态, 一直是强度折减法和重度增加法边坡稳定分析中经常遇到的一个比较棘手的问题。本文将滑坡的变形破坏规律应用到边坡破坏判据中, 以变形变化趋势作为边坡破坏判别标准, 应用到强度折减法和重度增加法中, 并通过典型边坡算例分析, 验证其可行性。

2 基本原理

2.1 强度折减法基本原理

Duncan(1996 年)^[1]指出, 边坡安全系数可以定义为使边坡刚好达到临界破坏状态时, 对土的剪切强度进行折减的程度。通过逐步减小抗剪强度指标, 将 c , ϕ 值同时除以折减系数 F_{sr} , 得到一组新的强

度指标 c' , φ' 进行有限差分分析, 反复计算直至边坡达到临界破坏状态, 此时采用的强度指标与岩土体原具有的强度指标之比, 即为该边坡的安全系数 F_s [2]。公式如下:

$$c' = c / F_{sr} \quad (1)$$

$$\varphi' = \arctan(\tan \varphi / F_{sr}) \quad (2)$$

式中: c' 和 φ' 为折减后的抗剪强度指标; F_{sr} 为每次计算的折减系数, 临界状态的折减系数 F_{sr} 为边坡的安全系数 F_s 。

赵尚毅、郑颖人等 [3] 通过比较毕肖普法和强度折减法的安全系数定义, 认为两者安全系数具有相同的物理意义, 强度折减法在本质上与传统方法是一致的。

2.2 重度增加法基本原理

重度增加法的计算原理 [4, 5] 与强度折减法原理正好相反, 保持岩土体的抗剪强度指标 c , φ 为常数, 通过逐步增加重力加速度 G 的方式, 反复进行有限元分析, 直至边坡达到临界破坏状态, 此时采用的重力加速度 G_{limit} 与实际重力加速度 G_0 之比即为该边坡的安全系数, 即

$$F_s = G_{limit} / G_0 \quad (3)$$

增大重力加速度实际上可以等同于增加岩土体的重度, 因此称之为重度增加法, 其中重度增加系数 $F_{gi} = G / G_0$, G_0 通常取值为 9.81 m/s^2 。

Chen 和 Mizuno(1990 年) [6] 采用重度增加法研究了黏性土边坡的稳定性, Swan 和 Seo(1998 年) [4, 5] 在此基础上通过比较系统的研究, 指出对于摩擦角较大的砂性土缓坡来说, 重度增加法算出的安全系数相对偏大。

3 破坏标准定义

强度折减法和重度增加法的思路清晰, 原理均比较简单, 但两种方法同时存在一个问题: 如何在不断降低岩土体强度参数或不断增加其重度的过程中判断边坡是否达到临界破坏状态, 这是有限元、有限差分计算中经常遇到的一个比较棘手的问题, 引起了众多研究者的兴趣。目前边坡稳定数值分析中判断边坡失稳破坏的标准通常有: 迭代求解的不收敛性 [7, 8]、广义剪应变贯通 [9, 10]、塑性区的范围及其连通状态 [11]、边坡内某点的位移与折减系数的关系曲线 [2, 12, 13] 等。这些方法来确定安全系数各具有其特点和实用性。本文通过对监测数据和算例的分析, 采用根据滑坡内某点水平位移增量和强度折减

系数增量(或与重度增加系数增量)之比与强度折减系数(或重度增加系数)的关系曲线来确定安全系数。

鸡鸣寺滑坡、新滩滑坡、黄茨滑坡等滑坡发生前, 曾对其变形进行了较长时间的监测, 并对滑坡发生时间作出成功的预报。通过分析鸡鸣寺滑坡临滑前实测的大量变形监测数据, 得到位移速率与时间的关系曲线, 如图 1 所示。其余滑坡位移速率随时间的变化规律与此类似, 因而可以总结出滑坡变形破坏前滑坡体变形速率变化规律的共同特性: 当滑坡体基本稳定时, 变形速率基本不变, 略呈上下波动; 随着滑坡体的稳定性降低, 变形速率加速增长; 当滑坡体接近临界破坏状态时, 其变形速率急剧增加。这一规律可以应用到边坡稳定数值分析中, 作为边坡破坏的判别标准。

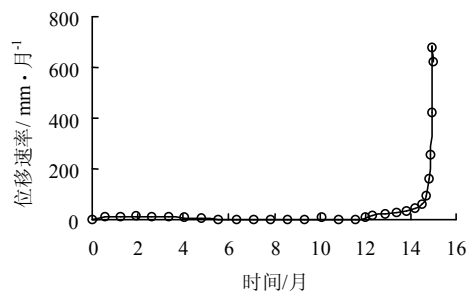


图 1 鸡鸣寺滑坡监测点的速率与时间曲线图

Fig.1 The curve with velocity and time on monitored Point of Jiming Temple landslide

随着边坡的各种环境因素变化, 边坡的稳定性也随着变化, 位移速率也随之变化。当边坡达到临滑状态时, 此时边坡安全系数降低到 1.0, 边坡滑体的下滑力正好与岩土体抗滑能力基本平衡, 位移速率会突然急剧增加, 并很快导致边坡失稳破坏。由此可以得出, 边坡的稳定性与位移速率变化趋势存在比较密切的关系, 人们通常利用实测位移来判断边坡的稳定性。而在有限差分边坡稳定分析过程中, 如果人为地逐步通过降低边坡岩土体的抗剪强度(或逐步增加岩土体的重度), 改变边坡的稳定性, 分析计算过程中不同强度折减系数(或不同重度增加系数)时边坡内各点水平位移的变化趋势, 滑坡体内各点的位移会随着边坡的抗剪强度逐渐折减(或岩土体重度的增加), 水平位移增量不断增加, 出现与滑坡发生前现场位移速率监测资料相似的规律, 而且某一幅值的剪应变增量等值线也不断在坡体内发展。当边坡的抗剪强度折减(或岩土体重度增加)到一定程度后, 水平位移增量的增长程度突然急剧

增大, 剪应变增量等值线也从上到下贯通。而当边坡的抗剪强度继续折减(或岩土体重度继续增加), 边坡坡顶水平位移增量的增长程度将会在达到顶点后逐步降低, 但此后变化规律不太明显。

本文采用坡内某点(在滑坡体内)水平位移增量与强度折减系数增量(或与重度增加系数增量)的关系曲线来确定安全系数, 当水平位移增量与强度折减系数增量之比 $\Delta\delta/\Delta F_{sr}$ (或水平位移增量与重度增加系数增量之比 $\Delta\delta/\Delta F_{gi}$) 急剧变化时, 则认为边坡处于临界破坏状态, 此时的强度折减系数(或重度增加系数)即为边坡的安全系数; 然后利用此时边坡的剪应变增量图形来确定相应的潜在滑动面位置, 连接剪应变增量等值线带状区域的最大幅值点, 即可得到潜在滑动面的形状和位置。

4 算例分析

算例采用 ACADS 边坡稳定分析程序考核题 1, 一个二维均质土坡, 边坡基本形状如图 2 所示, 材料特性见表 1^[14], 推荐答案安全系数为 1.00, 最危

险滑动面位置及形状见图 2。由于该算例调查的规模较大, 得到的分析成果比较可靠。因此本文采用强度折减法和重度增加法分析该均质边坡的稳定性, 与考核题 1 推荐计算成果(表 2)^[14]进行比较, 以验证其可行性及其精度。

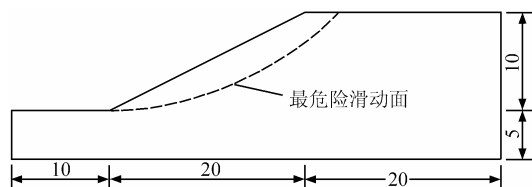


图 2 边坡形状及最危险滑动面位置图(单位: m)

Fig. 2 Shape of the slope and the position of the most unsafe slip surface (unit: m)

表 1 均质土坡力学参数

Table 1 Mechanics parameters for the homogeneous soil slope

c / kPa	φ / (°)	γ / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	E / MPa	μ
3.0	19.6	20.0	10	0.25

表 2 算例计算成果汇总表^[14]

Table 2 Total results for the homogeneous soil slope^[14]

分析方法	安全系数				裁判程序答案中的安全系数				
	均值	标准差	Min F_s	Max F_s	Donald	SSA(Baker)	GWEDGEM	EMU	Fredlud
All	0.991	0.031	0.940	1.080	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
Bishop	0.993	0.015	0.960	1.030					

4.1 计算模型及边界条件

对算例进行计算网格划分, 网格单元数为 677, 计算网格如图 3 所示。分析过程中考虑节点坐标随岩土体变形而改变的影响, 即考虑土体的大变形影响, 土体的本构关系采用弹——完全塑性模型, 屈服和强度准则采用 Mohr-Coulomb 准则。

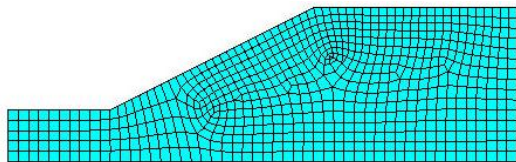


图 3 网格划分示意图

Fig. 3 Mesh of the homogeneous soil slope

4.2 强度折减法算例分析

根据强度折减法计算原理, 对边坡土体的抗剪强度逐步折减, 进行弹塑性有限差分分析, 直到边坡达到临界破坏状态, 正好使边坡达到临界状态时的抗剪强度折减的程度就是边坡的安全系数。通过

分析滑体位移增量变化趋势作为边坡破坏判别标准时, 应保证在折减的初始位置边坡未达到临界破坏状态。根据算例边坡的稳定性, 将强度折减系数为 0.7 时作为初始位置, 土体抗剪强度参数 c , φ 值同时除以 0.7, 然后逐渐增大强度折减系数, 即不断降低土体抗剪强度, 逐一进行有限差分分析, 得到一系列不同抗剪强度时的位移场。由于此边坡为一均质土坡, 坡顶点在滑坡体上, 因此, 分析坡顶点的位移增量随强度折减系数增加的变化趋势, 得到坡顶点水平位移增量和强度折减系数增量之比值 $\Delta\delta/\Delta F_{sr}$ 与强度折减系数 F_{sr} 的关系曲线, 如图 4 所示。

当强度折减系数 F_{sr} 达到 1.02 前, 坡顶点水平位移增量和强度折减系数增量之比值 $\Delta\delta/\Delta F_{sr}$ 值随 F_{sr} 增加而缓慢增加, 基本呈一水平直线, 这说明节点水平位移随抗剪强度的减小而增加的幅度较小, 在 F_{sr} 从 0.7 增加 1.02 的过程中, 边坡一直处于稳定状态; 当 F_{sr} 达到 1.02 后, 坡顶点的 $\Delta\delta/\Delta F_{sr}$ 值随 F_{sr} 增加而急剧增加, 这表明当边坡土体强度参数折减

至 1.02 倍后, 节点水平位移随土体强度降低的变化速率陡然增加。此时边坡土体的剪应变增量也逐步集中, 自坡脚到坡顶贯通, 呈带状分布, 带状区域内土体基本接近极限状态, 连接带状区域的最大幅值点得到如图 5 所示的曲线。边坡在土体强度参数折减至 1.02 倍时滑坡体的下滑力与土体抗滑力基本相等, 边坡可能沿该曲面开始发生滑动, 因此, 可以认为此边坡的安全系数为 1.02, 该曲面即为相应的最危险潜在滑动面。

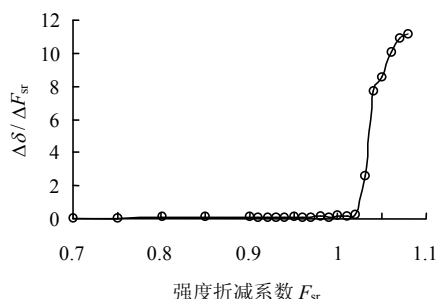


图 4 强度折减法 $\Delta\delta/\Delta F_{sr}-F_{sr}$ 关系曲线
Fig. 4 The curve of $\Delta\delta/\Delta F_{sr}-F_{sr}$ by strength reduction method

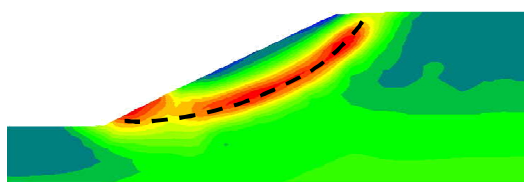


图 5 强度折减法剪应变增量分布图
Fig. 5 Shear strain increment distribution by strength reduction method

采用强度折减法分析该算例边坡水平位移随强度折减系数增加的变化趋势, 得到边坡的安全系数为 1.02, 仅比裁判程序推荐的答案 1.00 大 2%, 且最危险滑动面位置及形状基本相同。这说明采用基于水平位移增量与强度折减系数增量的变化趋势来判别边坡是否达到临界破坏状态的强度折减法是可行的, 判别方法概念清晰、物理意义明确, 界定清晰。

4.3 重度增加法算例分析

根据重度增加法的基本原理, 逐步增大土体的重力加速度, 即不断增大边坡土体的自重荷载, 正好边坡达到临界破坏状态时, 重力加速度增大的倍数就是边坡的安全系数。与强度折减法类似, 为了保证在重度增加的初始位置边坡处于稳定状态, 以重度增加系数为 0.7 作为起点, 将土体重力加速度乘以 0.7, 即土体重度乘以 0.7 倍, 然后逐渐增大重

力加速度, 逐一进行弹塑性有限差分分析, 由于边坡所承受的重力荷载不同, 因而可以得到一系列不同重度下的位移场。分析坡顶点的位移增量随重度增加系数增加的变化趋势。得到水平位移增量和重度增加系数增量之比值 $\Delta\delta/\Delta F_{gi}$ 与重度增加系数 F_{gi} 的关系曲线, 如图 6 所示。

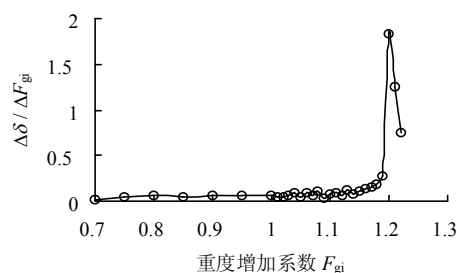


图 6 重度增加法 $\Delta\delta/\Delta F_{gi}-F_{gi}$ 关系曲线
Fig. 6 The curve of $\Delta\delta/\Delta F_{gi}-F_{gi}$ by gravity increase method

根据图 4、图 6 所示的边坡岩土体变形与强度折减系数(或重度增加系数)的变化规律曲线可以看出: 当强度折减系数(或重度增加系数)增大到一定程度, 边坡水平位移增量的增长程度突然急剧增大, 剪应变增量等值线也从上到下贯通时, 可以认为边坡处于临界破坏状态, 将此时的强度折减系数(或重度增加系数)作为边坡的安全系数, 剪应变增量等值线集中的区域即是边坡的最危险潜在滑动面位置。但是, 由于在边坡坡顶水平位移增量的增长程度在达到顶点后变化规律将会不太明显, 因此, 需注意选择初始分析状态, 应确保初始分析状态时边坡尚未达到临界破坏状态, 并需综合利用水平位移变化规律和剪应变增量的发展程度这两个判别条件共同判断边坡是否达到临界破坏状态。

当重度增加系数 F_{gi} 达到 1.18 前, 水平位移增量和重度增加系数增量之比值 $\Delta\delta/\Delta F_{gi}$ 值随 F_{gi} 的增加呈缓慢上升趋势, 局部有小幅波动, 边坡土体变形随重度增加系数增加的变化趋势不明显, 在 F_{gi} 从 0.7 增加到 1.18 的过程中, 边坡一直处于稳定状态; F_{gi} 达到 1.18 后, $\Delta\delta/\Delta F_{gi}$ 值随 F_{gi} 增加而急剧增加, 边坡水平位移随土体重度增加的变化速率陡然增加, 此时边坡土体的剪应变增量也自坡脚至坡顶逐步贯通, 呈带状分布, 连接带状区域的最大幅值点得到如图 7 所示曲线。在土体重度增加到 1.18 倍时, 边坡处于临界破坏状态, 可能沿如图 6 所示曲面开始发生滑动, 因此, 可以认为此边坡的安全系数为 1.18, 该曲面即为相应的最危险潜在滑动面。

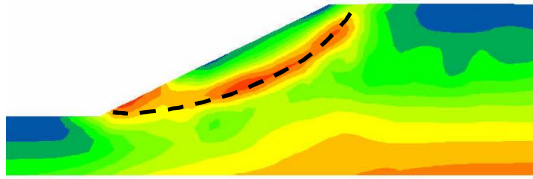


图7 重度增加法剪应变增量分布图

Fig.7 Shear strain increment distribution by gravity increase method

本文采用重度增加法分析该算例边坡水平位移增量随重度增加系数增量的变化趋势,得到边坡的安全系数为 1.18,比裁判程序推荐的答案 1.00 大 18%,比强度折减法计算结果大 15%,最危险滑动面位置及形状则基本相同。随着计算网格的加密,采用重度增加法计算的安全系数将逐渐接近裁判程序答案和强度折减法计算结果,当计算网格单元数为 2 221 时,计算的安全系数为 1.07(详见第 5 节),与裁判程序推荐答案的误差为 7%。

通过以上算例分析可知,采用重度增加法分析边坡稳定时,边坡稳定安全系数误差相对较大。有研究者认为^[5],对于黏性土采用重度增加法分析边坡得到的结果比较合理;而对于摩擦角较大的砂性土缓坡来说,增加土体的重度,会导致土体抗剪强度的增加。当摩擦角较大时,在 Mohr-Coulomb 屈服准则中正应力的增长对抗剪强度的影响较大,因而得到的安全系数相对较大。要解决这一问题,Swan 和 Seo Y K^[4, 5]认为,可以采用非线性 Drucker-Prager 屈服准则来处理,但其中与抗剪强度相关的参数需通过试验手段确定,对一般边坡工程来说,还是比较复杂的。因此,如何寻求一个简单、适用的方法以提高重度增加法的计算精度是一个有待继续研究的课题。

比较以上两种边坡稳定计算方法的破坏方式及特点,重度增加法一般比较适用于堤防工程中的边坡稳定分析,此类边坡大多由于水位骤升、骤降,土体自重荷载增加导致失稳;强度折减法的适用范围则比较广泛,一般情况下最适合于天然边坡或开挖边坡。

5 影响计算精度的参数分析

采用强度折减法和重度增加法分析边坡稳定时,不同的参数和计算网格可能对边坡稳定的计算精度有一定影响。本文分析了不同抗剪强度 c 、 φ 值、弹性模量 E 、泊松比 μ 、剪胀角 ψ 、计算网格及屈服准则等对强度折减法和重度增加法计算精度的影响,并与 Morgenstern-Price 极限平衡法分析结

果比较。以下分析均在 ACADS 程序考核题 1 的基础上进行,仅对所分析影响因素的参数作局部调整,其余条件均与算例相同。分析结果如图 8~14 所示。

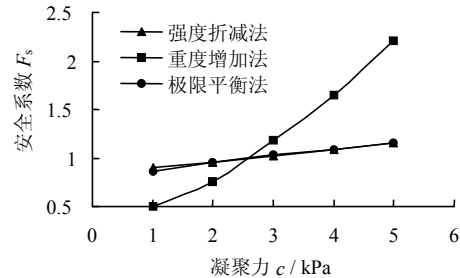


图8 凝聚力对计算精度的影响

Fig.8 Influence of cohesion on computation precision

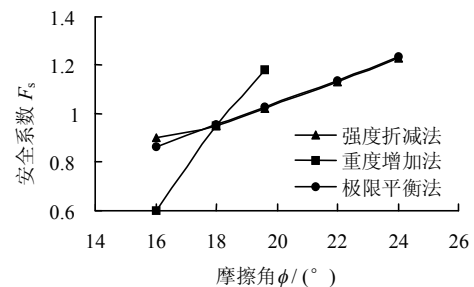


图9 摩擦角对计算精度的影响

Fig.9 Influence of friction angle on computation precision

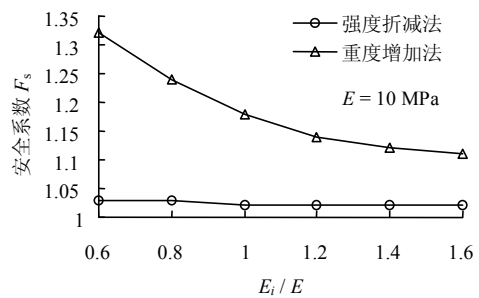


图10 弹性模量对计算精度的影响

Fig.10 Influence of elastic modulus on computation precision

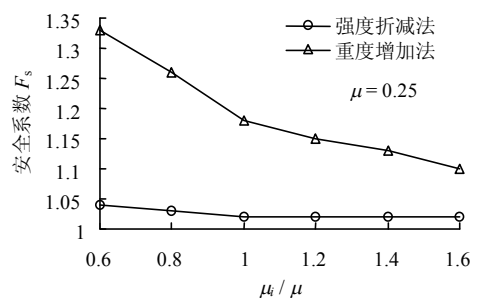


图11 泊松比对计算精度的影响

Fig.11 Effect on computation precision of Poisson's ratio

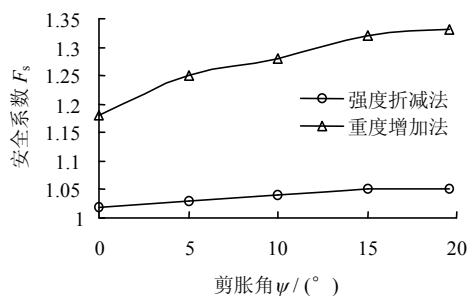


图 12 剪胀角对计算精度的影响

Fig.12 Influence of dilation angle on computation precision

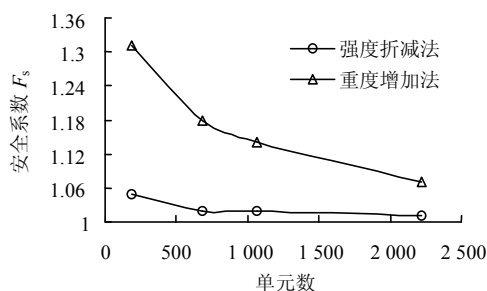


图 13 计算网格精度对计算精度的影响

Fig.13 Influence of meshing precision on computation precision

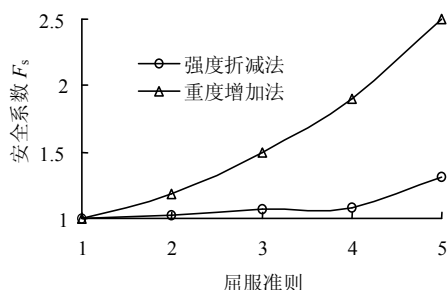


图 14 屈服准则对计算精度的影响

Fig.14 Influence on computing precision with different yield criterions

算例中采用的屈服准则为 Mohr-Coulomb 准则, 现分别采用内切圆 Drucker-Prager 准则、内接圆 Drucker-Prager 准则、等面积圆 Drucker-Prager 准则以及外接圆 D-P 准则, 利用强度折减法和重度增加法进行边坡稳定分析, 以考察不同屈服准则对边坡稳定分析的影响。图 14 中屈服准则 1~5 依次代表内切圆 Drucker-Prager 准则、Mohr-Coulomb 准则、内接圆 Drucker-Prager 准则、等面积圆 Drucker-Prager 准则和外接圆 Drucker-Prager 准则。

分析结果表明, 抗剪强度 c 、 φ 值、计算网格、屈服准则等因素对边坡稳定分析精度影响较大, 弹性模量 E 、泊松比 μ 、剪胀角 ψ 等因素对分析精度

影响相对较小, 其中各因素对重度增加法的影响均大于强度折减法的影响。通过比较不同 c 、 φ 值时, 强度折减法、重度增加法和 Morgenstern-Price 极限平衡法的分析结果(见图 8 和图 9), c 、 φ 值对强度折减法与 Morgenstern-Price 极限平衡法的计算精度影响程度基本一致, 对重度增加法的计算精度影响程度相对较大, 因而强度折减法的计算精度及可靠性较好, 重度增加法还有待进一步深入研究。

6 结 论

(1) 在总结前人研究成果的基础上, 从滑坡变形监测规律出发, 采用水平位移增量和强度折减系数(重度增加系数)增量之比与强度折减系数(重度增加系数)间的变化趋势来作为判断边坡破坏的标准, 并利用此时边坡岩土体的剪应变增量图形来确定相应的潜在滑动面位置。

(2) 采用基于上述边坡破坏判断标准的强度折减法和重度增加法对算例边坡进行稳定分析, 分析结果表明: 采用该方法分析边坡稳定是可行的, 本文采用的边坡破坏判别标准概念清晰、物理意义明确, 界定清晰。

(3) 比较全面地讨论了各种因素对强度折减法和重度增加法边坡稳定分析精度的影响。分析表明: 各因素对重度增加法的影响均大于强度折减法的影响, 也就是说目前强度折减法的计算精度及可靠性较好, 重度增加法还有待进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] Griffiths D V, Lane P A. Slope stability analysis by finite elements[J]. *Geotechnique*, 1999, 49(3): 387—403.
- [3] 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): 333—336.
- ZHAO Shang-yi, ZHENG Ying-ren, SHI Wei-min, et al. Analysis of safety factor of slope stability by strength reduction FEM[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2002, 24(3): 333—336.
- [4] Swan C C, Seo Y K. Limit state analysis of earthen slopes using dual continuum/FEM approaches[J]. *International Journal of Numerical Analysis Method in Geotechnical*, 1999, 23: 1 359—1 371.
- [5] Seo Y K. Computational methods for elasto-plastic slope

- stability analysis with seepage[Ph. D. Thesis], Iowa: the University of Iowa, 1998.
- [6] Chen W F, Mizuno E. Nonlinear analysis in soil mechanics: theory and implementation[M]. Elsevier: [s. n.], 1990.
- [7] Ugai K, Leshchinsky D. Three dimensional limit equilibrium and finite element analysis: a comparison of results[J]. **Soils and Foundations**, 1995, 35(4): 1—7.
- [8] Dawson E M, Roth W H, Drescher A. Slope stability analysis by strength reduction[J]. **Geotechnique**, 1999, 49(6): 835—840.
- [9] 郑颖人, 赵尚毅, 张鲁渝. 用有限元强度折减法进行边坡稳定分析[J]. 中国工程科学, 2002, 4(10): 57—61.
ZHENG Ying-ren, ZHAO Shang-yi, ZHANG Lu-yu. Slope stability analysis by strength reduction FEM[J]. **Engineering Science**, 2002, 4(10): 57—61.
- [10] 孙伟, 龚晓南. 弹塑性有限元法在土坡稳定分析中的应用[J]. 太原理工大学学报, 2003, 34(2): 199—202.
SUN Wei, GONG Xiao-nan. Application of elasto-plastic finite element method in stability analysis of soil slopes[J]. **Journal of Taiyuan University of Technology**, 2003, 34(2): 199—202.
- [11] 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. 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.
- [12] 宋二祥. 土工结构安全系数的有限元计算[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(2): 1—7.
SONG Er-xiang. Finite element analysis of safety factor for soil structures[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 1997, 19(2): 1—7.
- [13] 张培文, 陈祖煜. 糯扎渡大坝设计边坡稳定的有限元分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003, 1(3): 207—210.
ZHANG Pei-wen, CHEN Zu-yu. Finite element analysis of slope stability in Nuozhadu dam design[J]. **Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research**, 2003, 1(3): 207—210.
- [14] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析——原理, 方法, 程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.

三省市 2007 年交通基础设施建设

(一) 福建今年将投资 280 亿用于交通基础设施建设

近日, 2007 年福建省交通建设初步方案已经确定。今年全省将新增高速公路 135 km, 形成“一纵两横”高速公路主骨架; 备受关注的邵武、泉三支线、沈一海高速公路罗宁段改建, 以及泉—厦复线、福清渔溪—东瀚及江阴疏港支线项目将力争开工建设。福建省交通厅新闻发言人、副厅长马继列近日介绍, 2007 年全省交通基础设施建设计划投资 280 亿元, 其中高速公路 150.2 亿元, 重要网络 34.8 亿元, 港口 58.2 亿元, 新农村交通工程 33.8 亿元, 运输枢纽 3 亿元。

(二) 辽宁今年新建 9 条高速公路

2007 年, 辽宁交通基本建设投资将达 221 亿元, 其中计划投资 82 亿元进行高速公路建设, 力争新开工建设梅河口—抚顺、朝阳—赤峰、丹东—通化、丹东—海城、机场高速路、长兴岛疏港路、彰武—通辽、沈阳—康平和永陵—桓仁等 9 个项目 786 km, 投资 40 亿元。沈阳—彰武、大窑湾疏港路等项目竣工通车, 并续建铁岭—阜新等 8 个项目。

(三) 重庆交通建设今年再投 270 亿元

今年将成为重庆交通建设的投入年。从近日召开的 2007 年全市交通工作会议上获悉, 全市公路、水路建设计划总投资 270 亿元, 比去年增长 35 %, 再创历史新高。公路建设仍然是重中之重, 将有 246 亿元投入计划, 包括高速公路 165 亿元, 干线公路 29 亿元, 农村公路 50 亿元, 站场设施及其他建设项目 2 亿元。

(摘自 河海大学岩土网)