

基于边坡稳定性计算方法比较分析

陈卫华¹, 胡福洪², 陈 锋²

(1.湖北地矿建设勘察有限公司,湖北 武汉 430072; 2.武汉地质勘察基础工程有限公司,湖北 武汉 430072)

摘要:将强度折减法应用于边坡稳定性分析中,折减土体强度,代入有限元程序进行计算,直至计算不收敛,此时的折减系数即为安全系数。结合工程实例,将强度折减法应用于边坡稳定性的分析,利用瑞典圆弧法,结合岩土工程设计类软件天汉以及有限元分析软件 ABAQUS 分析边坡稳定性,并对安全系数进行对比,3 种计算方法得出的安全系数差别不大,安全系数精度都能满足工程要求。

关键词:强度折减法;边坡稳定性;安全系数;有限元;岩土工程

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)09-0071-04

Comparative Analysis on the Calculation Methods Based on Slope Stability/CHEN Wei-hua¹, HU Fu-hong², CHEN Feng² (1.Hubei Geological Build Prospecting & Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430072, China; 2.Wuhan Geological Prospecting & Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430072, China)

Abstract: Strength reduction method is applied in the slope stability analysis, the soil strength is reduced and calculated by finite element program until the calculation convergence. At this time, the reduction coefficient is the safety coefficient. Combining with the engineering case, the slope stability is analyzed using the strength reduction method; meanwhile, also using Swedish arc method and with the geotechnical engineering design software Tianhan as well as the finite element analysis software ABAQUS to analyze slope stability and compared the safety coefficient. It is concluded that the safety coefficients obtained by these 3 calculation methods have little difference and the coefficient accuracy can meet the engineering requirements.

Key words: strength reduction; slope stability; safety coefficient; finite element; geotechnical engineering

0 引言

目前,边坡失稳的防治仍然是一项很艰巨的任务,对边坡的稳定性分析及处治技术进行深入研究具有重要的意义。边坡防治,首先要进行稳定性分析,边坡稳定分析的方法很多,目前在工程中广为应用的是传统的极限平衡理论和有限元法^[1-3]。

近几年,基于不同的力学模型而建立起来的各种数值分析计算方法也越来越受到工程界的重视。一般来说,不同的边坡类型,不同的分析目的以及可获得的基本资料情况,应采用与之相适应的计算理论和稳定分析方法。传统分析方法基本是将边坡模型简化后进行假定想计算,考虑条件有限,有限元法克服了传统分析法的不足,不仅满足力的平衡条件,而且还考虑了土体应力、变形关系和支挡结构的作用,能够得到边坡在荷载作用下的应力、变形分布,模拟出边坡的实际滑移面。正因为有限元法的这些

优点,近年来它已广泛应用于边坡稳定性分析。基于这些原因,本文把传统的瑞典圆弧法,结合工程设计类软件,以及有限元分析法计算结果进行对比。以期能更好地解决实际工程问题。

1 边坡稳定性分析的强度折减法

1.1 屈服准则

本文采用理想弹塑性模型和 Drucker-Prager 屈服准则^[6]。Drucker-Prager 屈服准则既考虑了中间主应力 σ_2 对屈服强度的影响,又考虑了静水压力对屈服强度的影响,对土体材料有较好的适用性,已广泛应用于土体分析。Drucker-Prager 屈服准则是一种经过修正的 Mises 屈服准则,它考虑了静水压力(侧限压力)分量的影响,静水压力越高,则屈服强度越大。

1.2 边坡稳定性安全系数的定义

收稿日期:2018-05-08; 修回日期:2018-08-15

作者简介:陈卫华,男,汉族,1974 年生,总经理,高级工程师,长期从事岩土勘察及设计和管理工,湖北省武汉市武昌区八一路 463 号。

通信作者:胡福洪,男,汉族,1989 年生,工程师,硕士,岩土工程专业,主要从事地基基础设计及施工工作,湖北省武汉市武昌区八一路 463 号,964114961@qq.com。

边坡的稳定性安全系数定义为沿滑移面的抗剪强度与滑移面的实际剪力的比值,公式表示为:

$$K = \frac{\int (c + \sigma \tan \varphi) dA}{\int \tau dA} \quad (1)$$

1.3 有限元分析的强度折减法

将式(1)两边同除以 K , 则变为:

$$1 = \frac{\int \left(\frac{c}{K} + \frac{\sigma}{K} \tan \varphi \right) dA}{\int \tau dA} = \frac{\int (c' + \sigma \tan \varphi') dA}{\int \tau dA} \quad (2)$$

$$c' = \frac{1}{K}c, \varphi' = \arctan \left(\frac{1}{K} \tan \varphi \right)$$

式中: φ ——内摩擦角; c ——粘聚力。

通过逐步调整系数 K , 得到不同的 c' 、 φ' , 将 c' 、 φ' 代入有限元程序, 反复分析边坡, 直至坡体达到临界状态, 坡体达到临界状态时的 K 值即作为边坡稳定性安全系数。

2 工程应用

武汉某医院基坑设计工程, 其地层情况见表 1。

表 1 地层资料

地层编号	岩土名称	天然重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量/ MPa	c / kPa	φ / ($^\circ$)	H / m
① ₁	杂填土	18.5	5.0	15	15	3.1
② ₁	粘土	17.9	7.0	17	7	0.8
② ₂	淤泥	16.7	4.0	11	5	10.0

注: (1)上述物理参数由工程地质图及岩土工程勘察报告得出; (2)未考虑降水对坑内土体强度的提高作用。

基坑设计深度为 7.3 m, 考虑场地的平面布置及施工作业条件, 取场内地面施工超载及材料堆场超载按 15 kPa。

现对基坑稳定性进行计算分析。

2.1 瑞典圆弧法^[4]

(1)有附载不均匀土, 稳定性根据下式计算安全系数:

$$F_s = \sum (C_i L_i + W_{Ni} \tan \varphi_i) / W_{Ti} \quad (3)$$

式中: C_i ——第 i 个土条滑动面所处土层的粘聚力; L_i ——第 i 个土条滑动面弧长; φ_i ——第 i 个土条滑动面所处土层的内摩擦角; θ_i ——第 i 个土条滑动圆弧的中心角; W_i ——第 i 个土条的重度; W_{Ti} ——第 i 个土条的下滑力, $W_{Ti} = W_i \sin \alpha_i$; $W_{Ni} \tan \varphi_i$ ——第 i

个土条的阻力, $W_{Ni} \tan \varphi_i = W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i$ 。

(2)BC 截面边坡稳定性计算。通过计算与分析, 最终计算了 8 个圆弧, 最后得出 05 点 F_s 最小, 图 1 是 05 点用瑞典圆弧法划分的土条图示, 表 2 是各点 F_s 计算值。

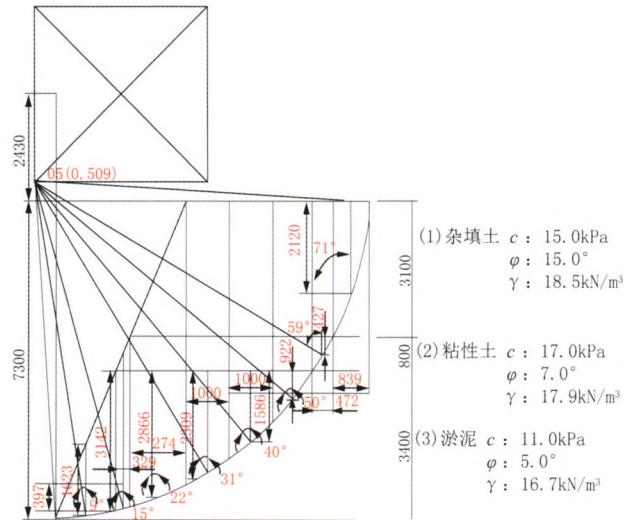


图 1 05 点圆弧图计算

表 2 各点稳定性计算

圆心点	F_s
01	0.597
02	0.684
03	1.084
04	0.829
05	0.509
06	0.514
07	0.528
08	0.571

2.2 天汉设计软件

将各项参数输入天汉软件中的出计算分析图, 如图 2 所示。

最终各滑弧计算结果如表 3 所示。

2.3 有限元分析 ABAQUS

边坡在无任何加固支护情况下的模型图、位移矢量图如图 3、图 4 所示。

应力与安全系数的对应关系如表 4、图 5 所示。

3 3 种计算方法所得安全系数分析比较(见表 5)

从表 5 中可以看出, 专业设计软件计算所得结果和人工计算, 数值上差异不大。

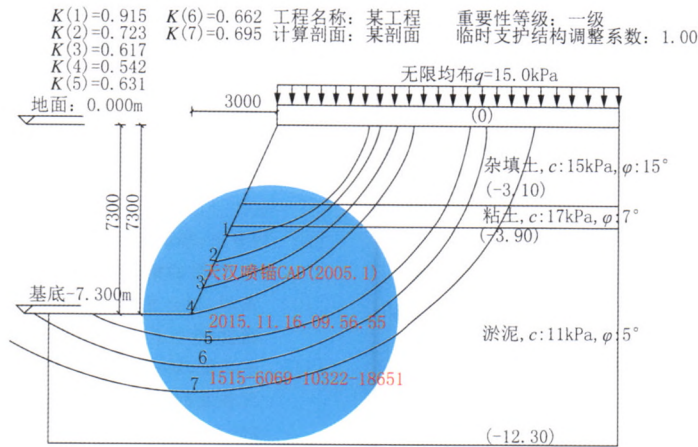


图 2 整体稳定性分析结果(圆弧滑动法)

表 3 滑弧安全深度计算结果

滑弧序号	经过深度/m	圆心坐标/m	圆心 Y 坐标/m	滑弧半径/m	安全系数最小值	评价
1	4.3	-1.8	0.9	5.2	0.915	不满足规定
2	5.3	-3.2	1.7	7.1	0.723	不满足规定
3	6.3	-4.4	2.5	9.0	0.617	不满足规定
4	7.3	-4.8	2.5	10.0	0.542	不满足规定
5	8.3	-2.3	0.8	9.1	0.631	不满足规定
6	9.3	-2.5	0.6	9.9	0.662	不满足规定
7	10.3	-2.8	1.7	12.0	0.695	不满足规定

表 4 应力与安全系数对应表

应力 F_v	安全系数 F_s
2.13×10^{-2}	0.25
3.68×10^{-3}	0.4
-2.14×10^{-2}	0.4375
-6.80×10^{-2}	0.475
-7.60×10^{-2}	0.478516
-7.92×10^{-2}	0.479834
-8.42×10^{-2}	0.481812
-8.62×10^{-2}	0.482553
-8.92×10^{-2}	0.483665
-9.05×10^{-2}	0.484083
-9.40×10^{-2}	0.484708
-1.03×10^{-1}	0.485647
-1.05×10^{-1}	0.485735
-1.07×10^{-1}	0.485823
-1.08×10^{-1}	0.485845

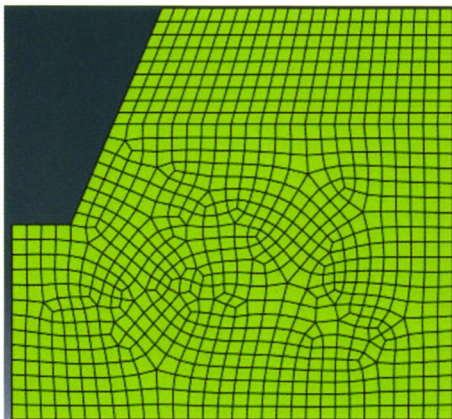


图 3 二维有限元模型

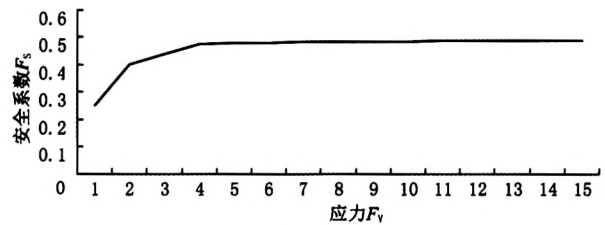


图 5 安全系数图

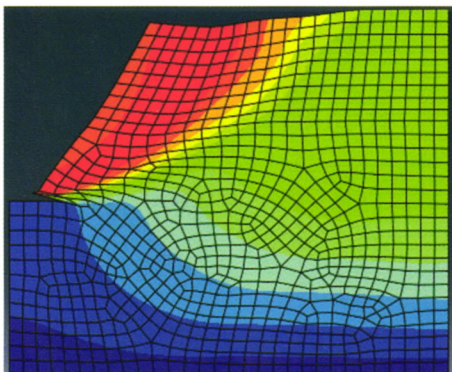


图 4 位移矢量图

表 5 3 种方法安全系数比较

方法	安全系数
瑞典圆弧法	0.509
天汉软件	0.542
ABAQUS	0.437

4 结论与建议

(1)传统边坡稳定计算方法和软件计算方法所得安全系数差异不大,可以作为稳定系数参考。

(2)用传统极限平衡法和设计类软件难以获得边坡的应力、变形分布及其发展趋势等信息。因此,在对边坡(尤其是大型边坡、重要工程的边坡)进行稳定性分析时,除对边坡稳定性采用传统极限平衡法进行简略计算外,宜补充采用有限元法进行分析,以获得边坡应力、变形发展的更多信息。

(3)作为施工单位技术人员,在平时边坡施工时,遇到建设方提出修改边坡设计时,可以掌握一种边坡稳定性计算方法,为保证基坑边坡稳定性提供理论依据。

参考文献:

- [1] 崔政权.边坡工程——理论与实际最新发展[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [2] 赵尚毅,时卫民,郑颖人.边坡稳定性分析的有限元法[J].地下空间,2001,21(5):450-454.
- [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性安全系数[J].岩土工程学报,2002,24(3):344-346.
- [4] 郑颖人,龚晓南.岩土塑性力学基础[M].北京:中国建筑工业出版社,1989.
- [5] Manzari M T, Nour M A. Significance of soil dilatancy in slope stability analysis[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2000, 126(1): 75-80.
- [6] Dawson E M, Roth W H, Drescher A. Slope stability analysis by strength reduction[J]. Geotechnique, 1999, 49(6): 835-840.
- [7] Griffiths D V, Lane P A. Slope stability analysis by finite elements[J]. Geotechnique, 1999, 49(3): 387-403.
- [8] 连镇营,韩国城,孔宪京.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.
- [9] 张鲁渝,郑颖人,赵尚毅.有限元强度折减系数法计算土坡稳定安全系数的精度研究[J].水利学报,2003,(1):21-27.
- [10] 董璞,刘金龙,李亮辉.强度折减有限元法分析边坡稳定性的精度探讨[J].四川建筑科学研究,2009,35(2):146-150.
- [11] 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.
- [12] 赵尚毅,郑颖人,邓卫东.用有限元强度折减法进行节理岩质边坡稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2003,22(2):254-260.
- [13] 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.
- [14] 郑颖人,赵尚毅,时为民,等.边坡稳定性分析的一些新进展[J].地下空间,2001,21(4):263-271.
- [15] 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.
- [16] 李春忠,陈国兴,樊有维.基于 ABAQUS 的强度折减有限元法边坡稳定性分析[J].防灾减灾工程学报,2006,26(2):207-211.