

文章编号:1009-6825(2007)27-0111-03

c 和 ϕ 相关性对滑坡稳定性计算的影响

杨红喜 尤晓燕 苏武斌

摘 要:结合工程实例,首先计算了 Monte-Carlo 循环次数为 10 000 次时的稳定性,设计了 c 和 ϕ 相对系数在 $-1.0 \sim 1.0$ 间以 0.25 递增的 9 种计算工况,考察了强度参数相关性对概率方法计算结果的影响,也研究了强度参数间的相关性。

关键词:极限平衡, Monte-Carlo, 可靠指标, 失效概率, 安全系数

中图分类号: TU457

文献标识码: A

引言

近几年随着计算机技术的发展,基于可靠度理论的滑坡稳定性计算方法和评价体系得到了迅猛发展,传统的稳定性判定标准一般为安全系数,可靠度理论的判定标准包括安全系数、可靠性指标和失效概率等^[1-6]。研究表明基于概率的计算和设计更符合工程实际,也更科学,也能较好地反映客观存在的参数的空间、时间尺度的离散性,即岩土参数的不确定性。文献[1]~[6]分别对

稳定性计算中常用的岩土体的容重 γ 、内摩擦角 ϕ 、粘聚力 c 对计算结果的影响做了研究,但是参数的相关性研究不是很多,而可靠度理论中各参数作为随机变量,其概率分布函数、概率分布特征值、参数间的相关性带来的影响不可忽略。

文中设想基于可靠度理论,利用极限平衡方法对台州市北水南调工程朱溪引水段Ⅷ号滑坡稳定性进行研究,首先试算 c 和 ϕ 不相关、Monte-Carlo 循环次数为 10 000 次时的边坡稳定性,在确

载,挖土机械不得碰撞支护结构。挖土严格控制标高,严禁超挖。
5)浇基础底板时,底板混凝土应浇到支护桩边。拆撑前需先进行换撑处理。

4 支护结构的计算

4.1 土压力系数计算

按照《建筑基坑支护技术规程》土压力计算方法作为土侧向压力设计的计算依据。

$$k_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (1)$$

$$k_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \quad (2)$$

其中, k_a 为主动土压力系数; k_p 为被动土压力系数; φ 为内摩擦角。

计算时,不考虑支护桩体与土体的摩擦作用,且不对主、被动土压力系数进行调整,仅作为安全储备处理。坑外超载: $q = 20$ kPa,圈梁顶位于标高 -3.05 m,支撑中心位于标高 -4.70 m。

4.2 计算结果

本工程采用理正岩土工程计算软件对深基坑进行围护计算,计算结果如下:

AB 段桩体最大弯矩为 $M_{\max} = M_{\max11} = 387$ kN·m。

选用 $\phi 800 @ 1\ 000$ 的钻孔灌注桩,混凝土 C30,主筋 12 $\phi 22$ (HRB335)。

$[M] = 622$ kN·m $> M_{\text{设}} = 1.0 \times 1.25 \times 387 = 483$ kN·m。

BC 段桩体最大弯矩为 $M_{\max} = M_{\max22} = 429$ kN·m。

选用 $\phi 800 @ 1\ 000$ 的钻孔灌注桩,混凝土 C30,主筋 12 $\phi 22$

(HRB335)。

$[M] = 622$ kN·m $> M_{\text{设}} = 1.0 \times 1.25 \times 429 = 536$ kN·m。

CDE 段桩体最大弯矩为 $M_{\max} = M_{\max22} = 678$ kN·m。

选用 $\phi 900 @ 1\ 100$ 的钻孔灌注桩,混凝土 C30,主筋 14 $\phi 22$ (HRB335)。

$[M] = 856$ kN·m $> M_{\text{设}} = 1.0 \times 1.25 \times 678 = 847$ kN·m。

5 结语

1)本方案施工期间每隔 2 d 观测一次,支护工程每隔 5 d 观测一次,其结果为基坑变形量小,基坑边坡稳定,整个施工稳定,整个施工过程未发生任何安全事故,经实践证明此施工方案符合实际施工要求。2)本工程根据现场的水文地质情况及周边环境采用钻孔灌注桩与钢筋混凝土内支撑、锚管和挂网喷浆联合支护的方式是有效解决基坑支护中场地狭窄、环境复杂等情况,也是降低基坑支护造价高、风险大的有效方法。

参考文献:

- [1] 龚晓南. 地基处理新技术[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.
- [2] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [3] 杨淑娟, 张明义, 宫月竹. 基坑工程中的若干问题探讨[J]. 青岛理工大学学报, 2006, 27(4): 23-26.
- [4] 郑宁炜, 王永学. 花岗岩深基坑边坡支护设计与施工[J]. 青岛建筑工程学院学报, 2004, 25(2): 28-30.

Discussion on supporting scheme of deep foundation pit in Changshu Sunlight shop

CHEN Feng

Abstract: This article introduces adopting different footing groove shoring for different depth and environment factors by a concrete illustration-Changshu Sunlight shop mall project, which has certain referential values.

Key words: types of shoring, footing groove, Changshu Sunlight shop mall project

收稿日期: 2007-04-11

作者简介: 杨红喜(1975-), 男, 工程师, 水利部山西水利水电勘测设计研究院, 山西 太原 030024

尤晓燕(1973-), 女, 工程师, 山西省地质工程勘察院, 山西 太原 030024

苏武斌(1974-), 男, 工程师, 浙江省浙南综合工程勘察院, 浙江 杭州 310011

定了最优随机取样次数后,设计 c 和 ϕ 相关系数在 $-1.0 \sim 1.0$ 之间以 0.25 步长变化的 9 种计算方案,考察参数相关性对计算结果的影响,反过来再用计算结果分析计算强度参数的相关性。

1 计算模型和分析方案

1.1 物理模型和计算参数

文中以台州市北水南调工程朱溪引水段Ⅷ号滑坡为研究对象,利用基于可靠度理论的极限平衡方法,对其稳定性进行了计算分析。表层为残积土层,中间一层为强风化泥岩,底座为中风化泥岩,坡底有地表水。

经过对该地段的工程勘察资料中残积土层的容重、内聚力和內摩擦角等指标的搜集和整理,计算所用岩土参数统计指标见表1。

表1 计算采用土性参数表

地层	容重/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	内聚力/ kPa	內摩擦角/ $^{\circ}$
残积土	最大值	28.8	23.4
	最小值	8.8	3.4
	平均值	18.8	13.4
	标准差	1.88	1.34

1.2 计算方案

各参数的概率函数是常见的正态分布,为说明该函数的形态和由此产生的取样函数的空间形态,特选用密度指标为例进行了说明。

为了节约机时,优化计算方案,先在 Monte-Carlo 循环次数为 $10\,000$ 时,设定内聚力和內摩擦角不相关的条件下进行了试算,然后考察了各稳定性评价指标随机取样次数变化曲线,最终为合理的取样次数选定服务,见图1。

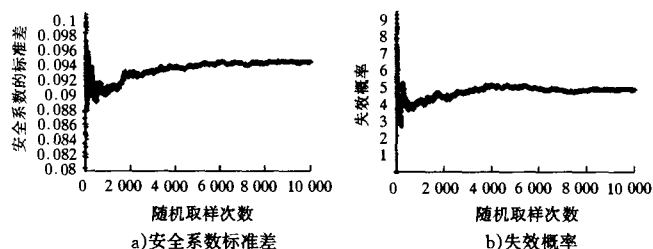


图1 稳定性计算结果随机取样次数变化图

从图1a)安全系数标准差随取样次数变化曲线可以看出,在循环次数超过 $6\,000$ 后安全系数标准偏差就围绕 0.093 做振幅小于 0.001 的上下波动了,这一点从安全系数均值的变化过程得到了印证,限于篇幅这里没有给出,循环次数大于 $8\,000$ 之后呈直线趋势;图1b)失效概率随取样次数的变化可以看出,先是剧烈波动, $2\,000 \sim 6\,000$ 之间有一个小幅隆起,随后又一小幅下凹,循环次数大于 $8\,000$ 之后也呈直线趋势,振幅小于 0.1% 。这样从上述各稳定性评价指标和随机取样次数的变化趋势可以看出,最优循环次数为 $8\,000$ 。

在此计算条件下,设计 c 和 ϕ 相关系数为 $-1.00, -0.75, -0.50, -0.25, 0.00, 0.25, 0.50, 0.75$ 和 1.00 等 9 种计算方案,用 Morgenstern-Price 法进行了稳定性评价。

2 稳定性分析

2.1 c 和 ϕ 不相关时稳定性计算结果

在上述计算条件下,现计算了 c 和 ϕ 不相关时的稳定指标(安全系数确定值计算结果、安全系数谱、可靠性指数和失效概率)。

安全系数谱可以看出随机取样 $8\,000$ 次时的安全系数分布形态和出现的频率,图中黑色部分为安全系数小于 1.0 的部分,这

样就可以计算出失效概率(等于 4.59%),安全系数平均值为 1.156 ,这与各参数确定值计算的 1.151 相差 0.005 ,可靠性指数 1.657 。设定不同的安全系数阈值,诸如临界值 1.0 ,基于圆弧滑动法的一级边坡安全等级规定的 1.30 ,二级 1.25 ,三级 1.20 等也可以计算需要治理的概率,或者各等级边坡需要注意的防止参数弱化发生的概率;参数敏感性分析发现,边坡安全系数随密度成反比关系,与强度参数成正比,其中在內摩擦角小于均值时,没有內聚力的变化对安全系数产生的影响大,在该值大于均值之后,內摩擦角的变化要比內聚力变化引起的安全系数的波动显著。

2.2 c 和 ϕ 相关性的影响

在计算了不相关情况下的稳定性指标后,为相关性的影响提供了一个相对标准,在上面的计算条件下,设计了 c 和 ϕ 相关系数在 $-1.0 \sim 1.0$ 之间以 0.25 步长变化的 9 种计算方案。

由计算结果可知,容重与安全系数的相关系数随强度参数间相关系数的变化在 $-0.728\,0 \sim -0.369\,1$ 间单调增加,整体呈现负相关特性,这与敏感性分析结论相契合;內摩擦角与安全系数的相关系数随强度参数相关系数的变化在 $0.687\,0 \sim 0.923\,3$ 间呈单调增加趋势,整体为正相关;內聚力则在 $-0.687\,0 \sim 0.923\,3$ 间呈单调增加,其中 c 和 ϕ 相关系数为 $-1.0, 0.75$ 和 1.0 时两者分别与安全系数的相关系数相等,图形表现为“Z”字型。这说明 c 和 ϕ 相关性应该在 $-0.75 \sim 0.5$ 之间。

可靠性指标随强度参数间相关系数的增加呈下降趋势;安全系数均值随该参数的变化波动不大,说明该方法继承了传统安全系数方法的合理性;两种方法的失效概率均随相关系数的增加呈单调增加趋势。这说明随着强度相关性的增加对可靠度理论的计算结果影响较大,其中 Janbu 法在 c 和 ϕ 相关系数为 1.0 和 0.75 时可靠性指数变化较大, Morgenstern-Price 法在 c 和 ϕ 相关系数为 -1.0 和 -0.75 时失效概率变化较大,这些数据异常说明了该范围 c 和 ϕ 相关系数的不合理性。综上可以认定 c 和 ϕ 相关性应该在 $-0.75 \sim 0.5$ 之间,这与 Lumb(1970 年), Grivas(1981 年)和 Wolff(1985 年)所做的大量室内试验得出的 c 和 ϕ 相关性应该在 $-0.72 \sim 0.35$ 之间的结论相吻合。

3 结语

文中通过对设计的岩土参数 c 和 ϕ 的相关性在 $-1.0 \sim 1.0$ 之间以 0.25 步长变化的 9 种计算方案的计算分析所得主要结论如下:1)循环次数大于 $8\,000$ 之后安全系数、安全系数标准差和失效概率等稳定评价指标的振幅均小于 0.1% ,据此设定最优循环次数为 $8\,000$ 。2)敏感性分析表明边坡安全系数随密度成反比关系,与强度参数成正比,其中在內摩擦角小于均值时,没有內聚力的变化对安全系数产生的影响大,在该值大于均值之后,內摩擦角的变化要比內聚力变化引起的安全系数的波动显著。3)经分析 c 和 ϕ 相关性跟各参数与安全系数的相关系数、失效概率、可靠指标的变化得出, c 和 ϕ 相关性应该在 $-0.75 \sim 0.5$ 之间,这与 Lumb(1970 年), Grivas(1981 年)和 Wolff(1985 年)所做的大量室内试验得出的 c 和 ϕ 相关性应该在 $-0.72 \sim 0.35$ 之间的结论相吻合。

参考文献:

- [1]周建普,李献民,王永和.粘土边坡可靠性分析方法研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2002,29(5):92-103.
- [2]张旭辉,龚晓南,徐日庆.边坡稳定影响因素敏感性的正交法计算分析[J]. 中国公路学报,2003,16(1):36-39.
- [3]夏元友,熊海丰.边坡稳定性影响因素敏感性人工神经网络分析[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(16):2 703-2 707.

文章编号:1009-6825(2007)27-0113-02

基于毕肖普模式的边坡稳定可靠度分析

袁祥宁 单景义 张光辉

摘要:引入数值求解方法,结合边坡稳定性分析方法中的毕肖普法,考虑土性参数的变异性和不确定性,详细论述了用常规可靠度计算方法中的JC法求解功能函数为隐函数的可靠度指标问题。

关键词:毕肖普法,JC法,隐函数,可靠度分析

中图分类号:TU473.1

文献标识码:A

引言

在边坡可靠度的分析中,选取不同的计算模式,可靠度的计算方法就有所不同,最简单的可靠度计算方法就是JC法,但其要求所建立的功能函数为显函数,满足此条件的计算模式比较少,如瑞典条分法;大多数边坡计算模式建立的功能函数为隐函数,如Bishop^[1], Spencer^[2], Janbu^[3]法等,而此类计算模式所采用的可靠度计算方法主要为蒙特卡罗模拟法,对于用蒙特卡罗模拟^[4]法进行可靠度分析,要进行成千上万次模拟,工作量大,很不经济。而响应面法正好克服了蒙特卡罗模拟法的缺点,其思想是选用一个适当的明确表达的函数来近似代替一个不能明确表达的函数,从而使得各种针对显式功能函数的可靠度方法可以应用于隐式功能函数问题的可靠度分析。事实上,在进行可靠度分析时,所需要的仅仅是功能函数在几个迭代点而不是整个空间内的数学运算,因此可以在这几个迭代点以数值算法近似代替数学运算,而没有必要进行响应面拟合,这样就可以在真正的极限状态曲面上求解,求解的结果更加准确。文中以边坡分析的Bishop模式为例,考虑土性参数的变异性和不确定性,以数值算法为基础,详细论述了用JC法求解功能函数为隐函数的可靠度指标这种新的方法。

1 Bishop 计算模式

如图1所示土坡,在毕肖普模式中,滑动面为圆弧形或近似圆弧形。已知,任一重力为 W_i 的土条 i 上的受力条件是一个静不定问题,土条 i 上的作用力中有5个未知,故属二次静不定问题。毕肖普在求解时补充了两个假设条件:忽略土条间的竖向剪切力 X_i 及 X_{i+1} 的作用;对滑动面上的切向力 T_i 的大小做了规定。

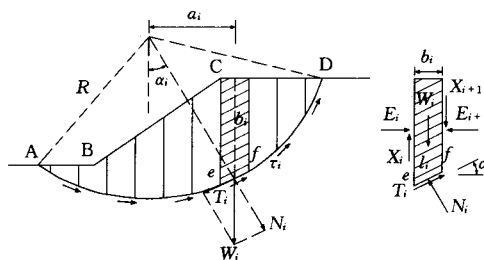


图1 Bishop 力学模型

根据土条 i 的竖向平衡条件可得:

$$N_i \cos \alpha_i = W_i + (X_{i+1} - X_i) - T_i \sin \alpha_i \quad (1)$$

若土坡的稳定安全系数为 F_s ,则土条 i 滑动面上的抗剪强度 τ_f 也只发挥了一部分,毕肖普假设 τ_f 与滑动面上的切向力 T_i 相平衡,即:

$$T_i = \tau_f l_i = \frac{1}{F_s} (N_i \tan \varphi_i + c_i l_i) \quad (2)$$

土条 i 上的作用力对圆心 O 产生的滑动力矩 M_s 及稳定力矩 M_r 分别为:

$$\begin{aligned} M_s &= T_i R = W_i R \sin \alpha_i, \\ M_r &= \frac{(N_i \tan \varphi_i + c_i l_i) R}{F_s} \end{aligned} \quad (3)$$

整个土坡相应于滑动面 AD 时的稳定安全系数为:

$$F_s = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (4)$$

将式(2)代入式(1)得:

[4] 郑敏洲, 简文彬, 吴茂明. 滑坡敏感性因子分析及其治理措施研究[J]. 岩土工程界, 2004, 7(12): 29-31.

[5] 张少宏. 黄土边坡稳定计算中参数的敏感性分析[J]. 水利与

建筑工程学报, 2003, 1(3): 40-42.

[6] 李强, 管昌生. 库岸滑坡稳定可靠性分析中若干规律的探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 999-1002.

Slope stability affected by relativity between cohesion and friction angle

YANG Hong-xi YOU Xiao-yan SU Wu-bin

Abstract: The stability of this slope is computed under condition of Monte-Carlo cyclic number being 10 000. Then, result of probability method affected by different value of relative coefficient which increases at intervals of 0.25 from -1.0 to 1.0 is discussed. Simultaneously, relativity of strength parameters is studied.

Key words: limit equilibrium, Monte-Carlo, reliability index, failure probability, factor of safety

收稿日期: 2007-04-19

作者简介: 袁祥宁(1974-), 男, 中国地质大学(武汉)硕士研究生, 湖北 武汉 430074

单景义(1974-), 男, 助理工程师, 山东正元地理信息有限责任公司, 山东 济南 250014

张光辉(1980-), 男, 助理工程师, 河南省煤田地质局物探测量队, 河南 郑州 450009