

加筋土坡稳定可靠度分析

孙慕群

陈晓平 符向前

(湖北省水利水电科学研究所,武汉 430070) (武汉水利电力大学,武汉 430072)

【摘要】 将可靠度分析的 JC 法运用于加筋土坡稳定分析中,以瑞典法为计算模型,以土的抗剪强度指标 C , φ 为基本随机变量,结合一工程实例探讨了加筋土坡稳定可靠度分析中的若干规律性问题,得出了一些有益的结论。

【关键词】 加筋;可靠度;土坡稳定;安全系数;可靠指标

【中图分类号】 TU473.3+4

Reliability Analysis of Reinforced-Slope Stability

【Abstract】 The model of reliability analysis on reinforced-slope stability and the probabilistic style of the essential variations have been established. The "JC" method is applied in reinforced-slope stability analysis. Combined with a practical project, a series of analysis on reliability of the reinforced-slope stability is done. Some valuable results are concluded.

【Key words】 reinforced; reliability; slope stability; safety factor; reliability index

1 加筋的机理

土中加筋能增强土体的强度,早为人们所熟知,但对筋材起加筋作用的机理的认识至今并不全面。根据室内试验、模型试验和力学分析、原体观测,可获得初步的理解。

在筋材不出现断裂和滑动,同时也不考虑筋材受力作用后产生的拉伸变形的条件下,加筋的作用是增大了侧向约束力 ($\Delta\sigma_3$),从而提高了土体的抗压强度 ($\Delta\sigma_{1f}$) 和抗剪强度(准粘聚力 C_p)。对于考虑了筋材的抗拉强度和变形性质之后的加筋土体,试验分析的结果表明,加筋的作用仍是增大了侧向约束力,从而提高了土体的抗压强度和抗剪强度。 $\Delta\sigma_3$ 、 $\Delta\sigma_{1f}$ 和 C_p 三者的大小均与所用的筋材的抗拉强度、加筋层间距和土的内摩擦角有关。

2 定值分析方法

2.1 概述

目前,土工织物大量地应用于各类土坡

稳定工程中,用以增强土体的稳定性,防止土坡失稳。对土工织物的稳定作用的分析方法很多,目前应用比较多的有以下几种:①瑞典法;②荷兰法;③有限元法;④弹性理论或弹塑性理论法。其中,瑞典法和荷兰法是采用最多的两种方法。这两种方法的共同特点是:在圆弧条分法的基础上直接把由于土工织物拉力所产生的抗滑作用加到滑动面上土体所产生的抗滑作用中。这两种分析方法概念明确,简单方便,大量地应用于铺设土工织物的土坡稳定分析中。这两种方法有其局限性,表现在没有考虑土织物与土体的相互作用引起的土体内应力状态的改变,而仅仅考虑了土工织物的拉力在滑动面处产生的阻止土体滑动的作用,从而低估了土工织物的作用,导致用这两种方法计算的稳定安全系数偏小。

本文试图将可靠度分析中的 JC 法应用于加筋土坡的稳定分析,计算模型选用了比较简单的瑞典法。

2.2 瑞典法

由图 1 所示的加筋土坡计算简图,易知瑞典法计算公式如下:

$$F_S = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cos \theta_i \tan \varphi + Cl_i) R + \sum_{i=1}^m T_i Y_i}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i R + C_s W_i a_i)} \quad (1)$$

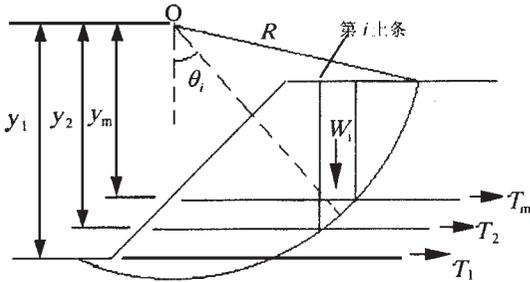


图 1 加筋土坡稳定分析计算简图

3 可靠度分析方法

3.1 JC 法基本原理

“JC”法是“国际结构安全度联合委员会”(JCSS)推荐的一种办法,因最初为 Rackwitz - Fiessler 提出,亦称“R-F”法,其基本原理简要介绍如下。

确定随机性影响因素,即“基本变量”,记为 $X_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 。可以建立包括各有关基本变量在内的关系式为

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad (2)$$

这一关系式称为“极限态方程”。其中 $Z = g(\cdot)$ 称为“功能函数”。

当功能函数与多个正态基本变量有关时,式(1)代表以基本变量 $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为坐标的 n 维欧氏空间上的一个曲面。将功能函数在验算点 P^* 处按泰勒级数展开,并仅保留其一次项,推导可知,可靠指标 β 是标准正态空间坐标系中原点到极限状态曲面的最短距离,可用以下方程组迭代求解,得到可靠指标 β , 及验算点坐标值 $X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*$ 。

$$x_i^* = \mu_{xi} - \sigma_{xi} \beta \alpha_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$\alpha_i = \frac{\frac{\partial g}{\partial x_i} \Big|_{*} \sigma_{xi}}{\left[\sum \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \Big|_{*} \sigma_{xi} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$g(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) = 0 \quad (5)$$

式中: μ_{xi} 为变量 X_i 的均值, σ_{xi} 为变量 X_i 的标准差。

当基本变量为非正态随机变量,则需进行当量正态化处理;当有相关性的随机变量时,可首先采用正交变换,转换为相互独立的随机变量,然后再利用式(3)~(5)求解。求出 β 之后,就可利用关系式 $P_f = \Phi(-\beta)$ 求出相应的失效概率。

3.2 极限状态方程的建立

选取土性参数 C, φ 为基本变量,由瑞典法计算公式可建立如下极限状态方程:

$$\left[\sum_{i=1}^n (C_i l_i + W_i \cos \theta_i \tan \varphi_i) + \sum_{i=1}^m (T_i y_i / R) \right] - \sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta_i + C_s W_i a_i / R) = 0 \quad (6)$$

以上各式中: W_i 为第 i 土条重量; θ_i 为第 i 土条底弧的仰角, ($^\circ$); l_i 为第 i 土条底弧长; R 为最危险滑动圆弧的半径; T_i 为第 i 层筋材的抗拉强度; C_s 为地震系数; a_i 为地震力的力臂; y_i 为第 i 层筋材拉力的力臂;其它符号如图所示。

3.3 程序设计

本文采用上述方法和模型编制了相应的计算程序,该程序具有结构化和通用性的特点。

3.4 算例及成果分析

图 2 为一座修建在粉质粘土地基上的路堤。填上的性质为:重度 $\gamma_1 = 19.2 \text{ kN/m}^3$, 粘聚力 $C_1 = 9.5 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi_1 = 9^\circ$; 地基土的性质为: $\gamma_2 = 20 \text{ kN/m}^3$, $C_2 = 17 \text{ kPa}$, $\varphi_2 = 9^\circ$ 。利用本文程序对上述实例进行了以下几个方面的计算,计算中假定 c 为对数正态分布, φ 为正态分布;且令 c_1, c_2 的变异系数为 0.3, φ_1, φ_2 的变异系数为 0.2。

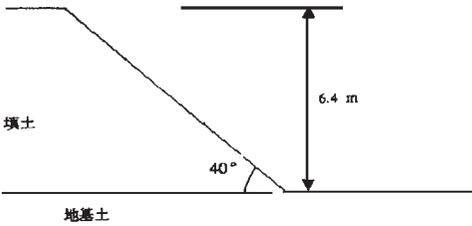


图2 实例计算简图

1) 考虑一层加筋时,加筋对 F_s 值和 β 值的影响

图2所示,当在坡底与地基交界面铺一层加筋材时,利用本文程序计算所得的结果见表1。由表1中的数据可看出,在坡底与地基交界面铺一层加筋材时,安全系数 F_s 值从0.820增加到1.000 1,而可靠指标 β 值却从-4.841增加到0.016 5。这表明,加筋对 β 值的影响比对 F_s 值的影响要明显得多。

表1 筋材对 F_{smin} 和 β_{min} 的影响

最小安全系数值 F_{smin}		最小可靠指标值 β_{min}	
加筋	无加筋	加筋	无加筋
1.000 1	0.820	0.016 5	-4.841

2 筋材的铺设高度对 F_s 值和 β 值的影响

安全系数 F_s 值及可靠指标 β 值与筋材的铺设高度有关。笔者利用本文程序,对加一层筋材时的情况进行了计算,总共采取了4种不同的筋材铺设高度(见图3),计算结果见表2和图4。

由表2可得图3(图3中铺设高度以交界面为基准,向上方向为正):

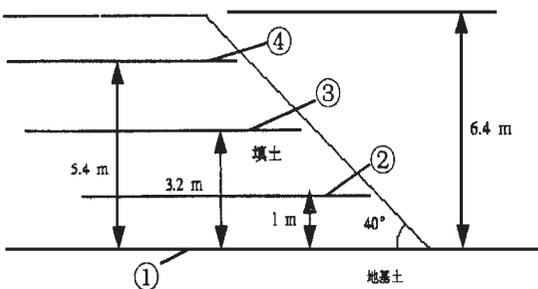


图3 不同筋材铺设高度示意图

表2 筋材的铺设高度对 F_{smin} 和 β_{min} 的影响

铺设位置	最小安全系数值 F_{smin}	最小可靠指标值 β_{min}
①	1.000 1	0.016 5
②	0.984	-0.440 7
③	0.943	-1.539 1
④	0.895	-2.787 2

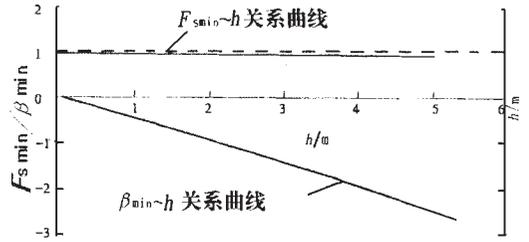


图4 筋材铺设高度 h 与安全系数及可靠指标关系示意图

由以上计算结果可知,当筋材铺设在交界面处时,安全系数值最大,土坡处于临界状态;而在其它位置,土坡均处于失稳状态。图中曲线表明,安全系数及可靠指标值随着筋材铺设高度的增加而减小;且可靠指标值减小的程度明显大于安全系数减小的程度。

3) 加筋层数 m 对 F_s 值和 β 值的影响

对从地面(即坡底与地基交界面)向上等间距(间距 $S_v = 1.5m$)铺放1~5层筋材时的情况进行了计算,得出的结果见表3。

由表3可得图5。

表3 加筋层数 m 对 F_s 和 β 值的影响

加筋层数 m /层	最小安全系数值 F_{smin}	最小可靠指标值 β_{min}
1	1.000 1	0.016 5
2	1.147	4.027
3	1.324	6.460
4	1.354	6.663 4
5	1.359	6.752 3

上述结果表明,安全系数及可靠指标值均随着加筋层数的增加而增大。由图5中可

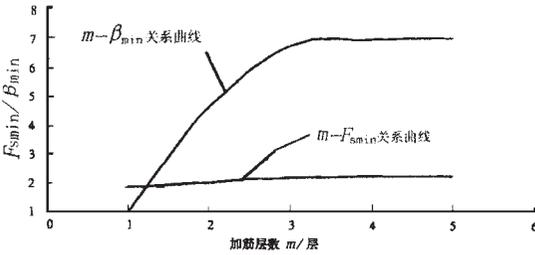


图5 加筋层数 m 与 F_{Smin}/β_{min} 关系示意图

看出, F_{Smin} 随 m 的变化不是非常明显, 即加筋对安全系数值的影响不大, 且随着加筋层数的增加, 加筋对安全系数的影响也变得越来越小; β_{min} 与 m 之间的关系则不同, $m \sim \beta_{min}$ 关系曲线中有一个较大的转折, 当加筋层数 $m \leq 3$ 时, β_{min} 随 m 的增加有显著的增大, 而当 $m > 3$ 以后, m 的增加对 β_{min} 值的影响明显减小。这说明, 在可靠度分析方法中, 加筋层数较少时, 加筋对可靠指标值的影响相当显著, 当加筋层数达到一定数量之后, 筋材层数的增加对可靠指标值的影响就会变得十分微小。

4) 加筋对破裂面位置的影响

图6中分别绘出了无加筋时土坡的最危险滑裂面位置以及加至五层筋材时的最危险滑裂面位置, 分别为图中圆 $O_0 \sim O_5$ 所对应的滑裂面。

由图6可看出, 加筋后土坡的最危险滑

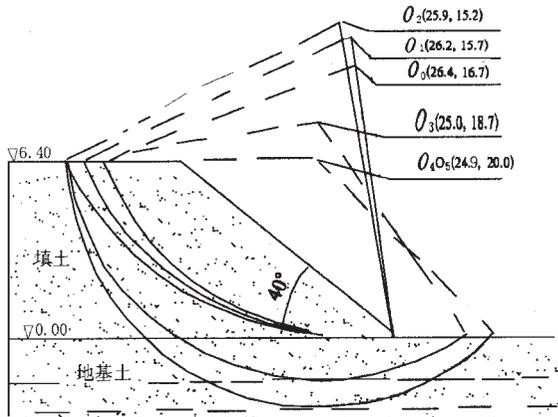


图6 加筋层数与破裂面位置的关系图

裂面位置与无加筋时的相比, 其圆心向土坡方向移动, 其滑弧则向左及深处移动。加筋层数越多, 这种移动趋势越明显。

图6中圆 O_0 为无加筋时最危险滑裂面的位置, 该圆与交界面相切; 同时由3.4中2)的结果可知, 当筋材铺设在交界面处时起的作用最大, 也就是说, 筋材的最佳铺设位置应为最危险滑裂面的切线位置。

4 结 论

本文通过对以土工织物作为加筋材的土坡稳定可靠度分析, 得出如下结论:

- 1) 加一层筋材时, 加筋对 β 值的影响比对 F_s 值的影响要明显得多。
- 2) 安全系数及可靠指标值随着筋材铺设高度的增加而减小; 且可靠指标值减小的程度明显大于安全系数减小的程度。
- 3) 安全系数及可靠指标值均随着加筋层数的增加而增大。其中, 加筋对安全系数值的影响不大, 且随着加筋层数的增加, 加筋对安全系数的影响也变得越来越小; 而在可靠度分析中, 加筋层数较少时, 加筋对可靠指标值的影响相当显著, 当加筋层数达到一定数量之后, 筋材层数的增加对可靠指标值的影响就会变得十分微小。

4) 加筋后土坡的最危险滑裂面位置与无加筋时的相比, 其圆心向土坡方向移动, 其滑弧则向左及深处移动。加筋层数越多, 这种移动趋势越明显。

5) 加一层筋材时, 筋材的最佳铺设位置应为最危险滑裂面的切线位置。

参 考 文 献

- 1 土工合成材料工程应用手册编写委员会. 土工合成材料工程应用手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994
- 2 祝玉学. 边坡可靠性分析. 北京: 冶金工业出版社, 1993