

考虑土层性质的基坑土钉支护整体稳定可靠性分析

祝方才¹, 阎 颜²

(1. 株洲工学院, 株洲 412008; 2. 长城铝业公司建设公司, 郑州 450041)

[摘要]详细研究了在考虑土层性质差异的情况下基坑土钉支护的整体稳定可靠性分析方法, 基于 Monte - Carlo 模拟方法开发了相应的可靠性分析程序, 并结合工程实例进行了具体分析。研究表明, 相对顶部土层来说, 土钉支护整体稳定可靠性对底部土层抗剪强度参数变异性较为敏感, 因此当基坑存在不同性质土层时, 必须考虑土层性质差异对基坑稳定可靠性的影响。

[关键词]基坑 土钉支护 可靠性

[中图分类号]TU432, TU94 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495 - 5331(2003)04 - 0078 - 03

建筑物上部结构的设计已经全部采用基于可靠度理论的新规范, 但在基础工程中, 特别是基坑土钉支护中, 考虑土层性质的可靠性研究尚不多见。陈昌富等^[1]对单一土层情况的土钉支护稳定可靠性进行了较为详细的研究。高浪等^[2]认为: 当土层性质的差异较大时, 必须考虑土层性质对稳定性的影响。本文主要对存在不同性质土层的土钉支护情况

进行整体稳定可靠性分析。

1 基坑土钉支护的整体稳定性分析

根据中国工程标准化协会标准——《基坑土钉支护技术规程》(CECS96:97), 在进行土钉支护的整体稳定性验算时, 采用如下公式^[3]:

$$F_s = \frac{\sum [(W_i + Q_i) \cos \alpha_i \tan \varphi_j + (R_k / S_{hk}) \sin \beta_k \tan \varphi_j + c_j (\Delta_i / \cos \alpha_i) + (R_k / S_{hk}) \cos \beta_k]}{\sum [(W_i + Q_i) \sin \alpha_i]} \quad (1)$$

式中 W_i, Q_i —作用于土条 i 的自重和地面、地下载荷; α_i —土条 i 圆弧破坏面切线与水平面的夹角; Δ_i —土条 i 的宽度; φ_j —土条 i 圆弧破坏面所处第 j 层土的内摩擦角; c_j —土条 i 圆弧破坏面所处第 j 层土的粘结力; R_k —破坏面上第 k 排土钉的最大抗力; β_k —第 k 排土钉轴线与该处破坏面切线之间的夹角; S_{hk} —第 k 排土钉的水平间距。

进行整体稳定验算时, 本文假设破坏面是坡脚圆。根据 G Gadehus 的研究结果^[4], 确定可能圆心点位置的经验公式为:

$$\begin{aligned} x &= H[(40 - \varphi)/70 - (\beta - 40)/50] \\ y &= H[0.8 + (40 - \varphi)/100] \end{aligned} \quad (2)$$

式中 φ —土体内摩擦角($^\circ$), 非单一土层时, 取平均值; β —边坡角($^\circ$); H —边坡高度(m)。

所建立的坐标系如图1所示。

圆心区搜索范围的确定: 以上面确定的圆心区位置为中心, 在4个方向上各扩大一定的距离(一

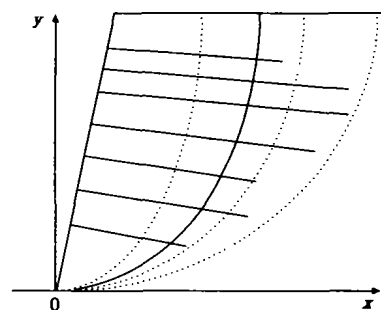


图1 土钉支护稳定性验算

般取 $0.35HI$, 根据具体情况可适当扩大, HI 为当量坡高) 进行计算, 并根据上述计算公式编制了自动搜索程序。

2 考虑土层性质的整体稳定可靠性分析

可靠性分析的方法有多种, 如可靠指标法、统计矩法等。考虑到土层性质的差异, 本文采用 Monte - Carlo 模拟方法^[5-6]。

[收稿日期]2002 - 01 - 08; **[修订日期]**2002 - 04 - 16; **[责任编辑]**李石梦。

[第一作者简介]祝方才(1972年-), 男, 2001年毕业于中南大学, 获博士学位, 在站博士后, 讲师, 主要从事岩土力学的教学与研究工作。

对式(1)进行变换,可得内部整体稳定的极限状态方程为:

$$Z = g(c_j, \varphi_j) = \sum [(W_i + Q_i) \cos \alpha_i \tan \varphi_j + (R_k/S_{kk}) \sin \beta_k \tan \varphi_j + c_j (\Delta_i / \cos \alpha_i) + (R_k/S_{kk}) \cos \beta_k] - \sum [(W_i + Q_i) \sin \alpha_i] \quad (3)$$

式中符号含义同式(1),仅考虑了 c, φ 的变异性(原因见下面第3节)。

统计资料表明,地基土的抗剪强度参数呈正态分布,在基坑土层参数分布未知的情况下,可以采用该分布。标准正态分布的随机变量可用近似法求得,根据中心极限定理:均值为 μ ,方差为 σ^2 的 n 个互相独立且服从同一分布的随机变量 $\{x_n\}$ 的和 $\sum x_n$ 服从均值为 $n\mu$,方差为 $n\sigma^2$ 的近似正态分布。取 n 个 $(0,1)$ 区间上均匀分布的随机变量 $\{x_n\}$,其均值为 $1/2$,方差为 $1/12$,可得随机变量:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i - n/2}{(n/12)^{1/2}} \quad (4)$$

服从近似 $(0,1)$ 正态分布, n 越大,逼近越好,一般取 $n=12$ 。对于 (μ, σ^2) 的正态分布,则可用下述线性变换来产生。

$$y = \mu + \sigma r \quad (5)$$

产生 $(0,1)$ 上均匀分布随机数的方法有多种,如线性同余法、二次同余法等。目前的高级语言均具随机数生成函数,可利用该函数来产生。在上述自动搜索滑动面的基础上编制了相应的模拟程序。

3 可靠性分析的具体应用

某基坑工程位于北京市朝阳区劲松东口,拟建建筑物主楼26层,配楼4层,基础埋深-13.75 m(标高24.05 m),局部电梯井-16.45 m;四周无放坡空间,基坑边坡采用土钉墙支护。据设计单位勘察报告,该场地存在4层地下水,最高水位标高为36.49 m,高出基槽底标高12.44 m,因此需降水,人工将地下水位降至基槽底以下0.5 m处(相当于标高23.55 m以下),以确保土建施工顺利进行和边坡稳定。场地地貌单元属永定河冲洪积扇的中下部,地形平坦,地面标高在37.06~37.836 m之间。埋深30.0 m以内的地层情况如表1所示。

设计采用土钉支护,土钉倾角 10° ,直径130 mm,土钉水泥浆体强度20 MPa,土钉水泥浆配比=0.5,上下共布置9排土钉,钉土粘结强度1~6排60 kPa,7~9排80 kPa,土钉水平间距和垂直间距均为1.5 m,其长度如图2所示。面层喷射砼C20,水

泥:砂:碎石:速凝剂=1:2:2:0.03(重量比),喷射厚度:100 mm,钢筋网 $\phi 8@200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$,保护层为30~50 mm,坡顶超载20 kPa。为保证坡顶稳定,在坡顶做1.5 m的钢筋砼翻边,设计了两种坡度(1:0.1,1:0.2),本文取后一种坡度进行分析。

表1 土层参数

土层	层底标高 m	层厚 m	重度 kN/m ³	φ °	c kPa
杂填土	-2.5	2.5	20	15	10
粘质粉土	-6	3.5	20	23	10
粉质粘土	-9	3	20	18	14
细砂	-16	7	20	30	0
粘土	-24	8	20	20	10

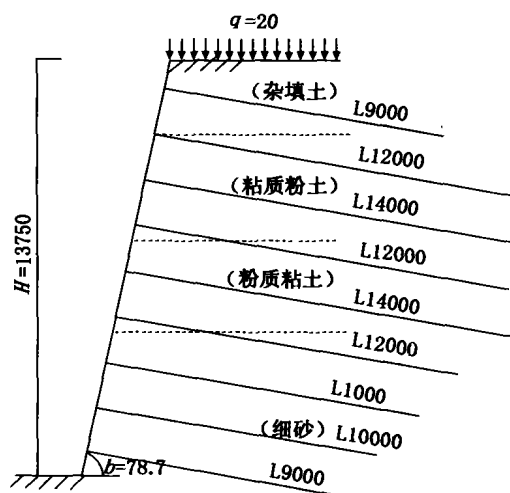


图2 某基坑土钉布置

计算时各土层的变异系数按文献[7]选取,研究表明,当Monte-Carlo模拟次数达到5000次以上时,模拟结果基本保持稳定。研究表明,容重和超载的变异性对深基坑稳定可靠性影响不大^[1],本文不做考虑。这里主要讨论土层抗剪强度参数(粘结力 c ,内摩擦角 φ)的变异对基坑稳定可靠性的影响,对每一个土层的 c, φ 值产生所要求数量的给定分布的随机数,另外为了深入研究可靠性的影响因素,本文将文献[7]中的变异系数范围适当扩大到0.5进行研究,然后利用公式(3)计算。首先进行最危险滑动面的搜索,得到其圆心坐标为 $(x, y) = (-1.85, 18.66)$ (m),安全系数1.26,然后以该滑动面进行可靠性计算。

3.1 φ 值变异性对可靠指标 β 的影响

取 c 值的变异系数为0,考察各个土层 φ 值变异的影响,计算结果如图3(a)所示。图中可以看出,土层的位置对稳定可靠性有很大影响。当变异系数相同时,靠近基坑底部的土层对可靠性影响较大,即可靠性对其变异性较为敏感,随着土层与基坑底部

的距离增加,敏感程度降低,而且对于同一土层来说,随着变异系数的增加,敏感性降低,当达到一定值时,可靠指标变化很小。考虑到不同土层 φ 值变异性对可靠性的影响,对细砂和粉质粘土进行了进一步的研究(φ 值变异系数小于 0.1 的情况),如图 3(b) 所示,细砂层 φ 值变异性对可靠性的影响较粉质粘土层大,进一步证实了图 3(a) 的研究结果。

3.2 c 值变异性对可靠指标 β 的影响

由于细砂的粘结力为 0, 本文不考虑细砂层粘结力变异性, 计算结果如图 3(c) 所示。 c 值变异性对可靠指标 β 的影响与 φ 值变异性的影响类似, 即可靠性的变化特征与土层位置、土层抗剪强度参数的变异性存在一定的关系。但相对土层 φ 值变异性来说, 其敏感性均不及前者。

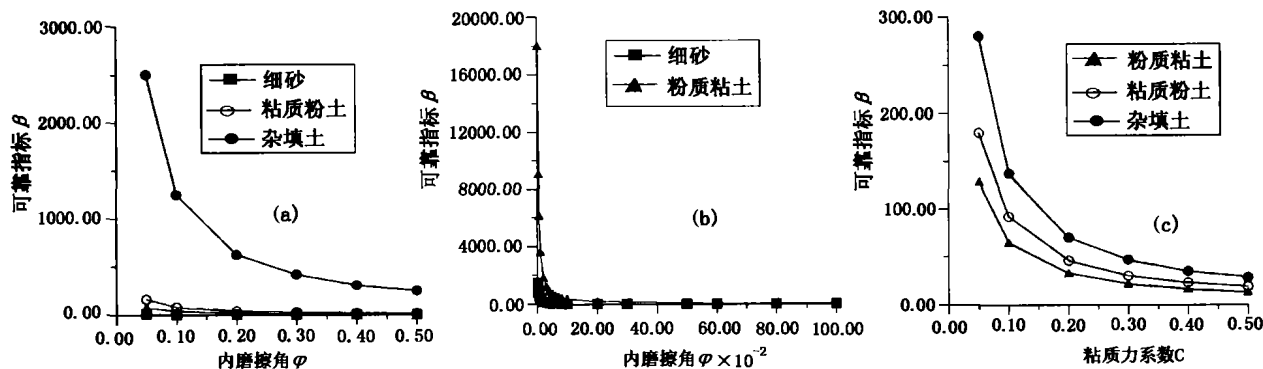


图 3 土钉支护整体可靠性分析

(a) φ 值变异性对可靠性的影响; (b) φ 值变异性对可靠性的影响的放大描述(φ 变异系数 ≤ 0.1);

(c) c 值变异性对可靠性的影响;

[参考文献]

4 结论

本文详细研究了考虑土层性质差异情况下的基坑土钉支护稳定可靠性分析方法。Monte - Carlo 模拟计算表明, 土钉支护整体稳定可靠性与土层位置及土层的抗剪强度参数的变异性有关: 相对顶部土层来说, 可靠性对底部土层抗剪强度参数变异性较为敏感, 且对 c 值和 φ 值的变异性敏感程度不同, 后者较大; 随着抗剪强度参数变异性的增加, 可靠性对土层位置及土层的抗剪强度参数变异性敏感性降低。

综上所述, 研究存在不同性质土层情况下的基坑稳定可靠性时, 应对各个土层的变异性分别进行考虑, 本文的研究对于土钉支护可靠性设计具有一定的实用价值。

- [1] 陈昌富, 彭小明. 深基坑土钉墙外部稳定可靠度优化分析方法[J]. 湖南大学学报, 1999, 26(2): 66 ~ 71.
- [2] 高浪, 谢康和, 潘秋元. 土钉墙的设计与计算[J]. 工业建筑, 1999, 29(9): 16 ~ 20.
- [3] 陈肇元, 崔京浩. 土钉支护在基坑工程中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [4] 叶观保, 叶书麟. 地基加固新技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [5] 祝玉学. 边坡可靠性分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993.
- [6] 邓建. 地下岩体工程可靠性分析理论与应用研究[D]. 长沙: 中南工业大学, 1999.
- [7] 杨林德, 徐超. Monte - Carlo 模拟法与基坑变形的可靠度分析[J]. 岩土力学, 1999, 20, (1): 15 ~ 18.
- [8] 邹天一. 结构可靠度[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [9] 代国忠, 杨国春. 土钉墙技术在长春市北方大厦基坑工程中的应用实践[J]. 地质与勘探, 2002(2): 88 ~ 90.

STUDY ON RELICBILITY OF STABILITY OF SOIL - NAILED WALL CONSIDERING SOIL LAYERS PROPERTIES

ZHU Fang - cai¹, YAN Yan²

(1. Zhuzhou Institute of Technology, Zhuzhou 412008; 2. Great Wall Aluminium Company, Zhengzhou 450041)

Abstract: In this paper, a method is proposed to study reliability of stability of soil - nail support wall considering difference of soil layers' properties. Based on Monte - Carlo simulation, a program is developed, and an engineering case is studied in detail. It is shown that reliability of stability is more sensitive to variance of shear strength parameters of bottom soil layers than top ones. Difference of soil layers' properties should be considered while studying reliability of stability.

Key words: foundation, soil - nail support, reliability