

文章编号: 1000-7598-(2003)02-0277-04

土体抗剪强度参数取值的统计分析方法

林鲁生^{1,2}, 蒋 刚³, 白世伟¹, 刘祖德⁴

(1. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071; 2. 广东省东江-深圳供水改造工程总指挥部, 广东 东莞 523710;
3. 南京工业大学 土木工程学院, 江苏 南京 210009; 4. 武汉大学 水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 讨论了残积土边坡强度参数的取值, 对某残积土边坡的土工试验资料进行了统计, 分析了 c 、 φ 参数在边坡不同部位的特点, 通过对边坡稳定计算中多组参数的反分析, 提出了符合边坡实际状态强度指标的取值方法。

关 键 词: 残积土; 抗剪强度; 取值方法

中图分类号: TU 41 文献标识码: A

Statistical analysis method of taking value for shear strength parameters of soil mass

LIN Lu-sheng^{1,2}, JIANG Gang³, BEI Shi-wei¹, LIU Zu-de⁴

(1. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 470071, China; 2. The East River—Shenzhen Water Supply Reconstructing Project Headquarters, Guangdong 523710, China; 3. College of Civil Engineerin, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China; 4. Wuhan University, Wuhan 470072, China)

Abstract: The method of taking value for the strength parameter of residual soil slope is discussed. Based on the testing data of a real residual soil slope, the characteristic parameters c and φ in the different position of slope have been analysed statistically. By way of many teams parameter back analysis in the stability analysis of slope, a method of taking value from which the strength parameter has fit to the real state index of the slope, has been put forward.

Key words: residual soil; shear strength; method of taking value

1 引 言

在残积土边坡的稳定分析计算中, 如何根据边坡及残积土土体状态确定土体抗剪强度参数, 将直接影响到计算结果的可靠性。残积土边坡滑坡一般表现为浅层性的渐进破坏。由于风化及应变软化作用等原因, 边坡土体的抗剪强度在边坡不同部位的分布是不均匀的。合理的选取土体抗剪强度参数, 就成为边坡稳定分析计算的重要内容。

2 考虑风化及应变软化作用的参数取值

具有渐进破坏特征的边坡的稳定与其变形以及由变形引起的土体抗剪强度降低有关。边坡土体随着变形的发展, 具有应变软化性状, 在滑坡发生之前, 滑动面局部抗剪强度可能已得到完全的发挥,

滑动面上局部土体抗剪强度由峰值强度逐渐趋于残余强度。包承纲^[1]提出的强度选取原则是在不同区域、不同部位、不同土性、不同工况、不同外部条件的土都应有与之相符的强度参数。根据破坏型式和稳定分析中的滑动体所涉及的土体来看, 大致有如下 6 种情况, 它的参数取值可按下述思路进行:

(1) 风化层 采用干缩循环 2 次后的饱和土样的强度;

(2) 坡顶张裂隙层 在裂隙张开的深度内, 强度为零;

(3) 坡脚塑性区 采用应变软化后的某一残余系数所对应的强度值, 如果难以确定残余系数, 可取峰值 τ_{fp} 与残余值 τ_{fr} 的均值, 如果估计应变值较大时, 就取残余强度值 τ_{fr} 。水下部分用饱和土样, 水上部分用非饱和土样;

收稿日期: 2002-03-05

作者简介: 林鲁生, 男, 1961 年生, 中国科学院武汉岩土力学研究所博士后, 广东省东深供水改造工程总指挥部副总工程师, 高级工程师, 从事岩土工程工作。

(4) 裂隙随机分布的膨胀土体, 取考虑随机裂隙影响的综合强度值, 水下用饱和土样, 水上用非饱和土样;

(5) 填筑膨胀土, 采用抗剪强度峰值 τ_{fp} , 水下用饱和土样, 水上用非饱和土样;

(6) 软弱夹层和层间界面, 对尚未滑动的部位, 采用饱和土样首次滑动的强度值, 对于已经滑动的软弱夹层、层间界面及古滑坡复活的滑动面, 采用原状饱和土样的残余强度值 τ_{fr} , 或者重塑土样的反复剪稳定强度值。

在以上取值中, 一般 φ 可以取用试验值小值的平均值, 而 c 值则取试验值的 $1/4 \sim 1/5$, 也可根据具体情况而定。

从以上的分析可看出, 土坡的中段及上段滑动面上的剪应变较下段滑动面上的值要小, 因此由应变引起的强度衰减也较小。但由于残积土坡滑坡的浅层性, 滑动面一般处在风化层内, 所以土坡上段滑动面上的强度值仍然会由于风化作用而显著减小; 另外, 流变的影响也会使强度有较大的降低。降低的强度中主要是粘聚力 c 值的部分。考虑到上述因素的作用, 滑动面上的 c 和 φ 值从上段至下段应分别选用峰值与残余值之间的不同数值。湖北省水利学会膨胀土研究课题组经两年多的研究, 在渐进性破坏面上滑动面强度指标取值上积累了极其宝贵的经验^[1]: 建议在膨胀土边坡设计中, 高差每 4 m 左右设一级平台。最高一级斜坡的滑动面上可取 φ 的残余值 φ_r 加上 $2/3$ 的峰值 φ_p 与残余值 φ_r 之差, 即 $\varphi = \varphi_r + 2/3(\varphi_p - \varphi_r)$ 。然后每下降一级, φ 值就减少 $1/3$ 的峰值与残余值之差, 直到残余值。由于 c 值受风化作用及应变软化作用的影响较大, 将受到比 φ 值更大的衰减影响。最高一级斜坡的滑动面上可取 c 的残余值加上 $2/9$ 的峰值与残余值之差, 即 $c = c_r + 2/9(c_p - c_r)$ 。然后每下降一级, c 值就减少 $1/9$ 的峰值与残余值之差, 直到残余值。

3 c 、 φ 值的数理统计分析

某水库在引水隧洞施工开挖时引起开挖面边坡滑动, 虽经治理但 1998 年暴雨使其又发生滑动, 前后进行了两次勘察, 根据边坡两次的土工试验资料来分析及确定边坡的抗剪强度参数。表 1 为边坡通过勘察确定的滑动面深度及状态。

3.1 c 、 φ 值的统计

为了使样本更具有代表性, 将勘察工作所提供的抗剪强度指标分别整理出 c 、 φ 值的频率分布直方图, 见图 1, 2。将取土深度与 c 、 φ 值的关系整

表 1 钻孔滑动面特征

Table 1 The characteristics of bored sliding surface

孔号	滑动面深度	滑动面倾角	说明
	/m	/ (°)	
ZK363	3.6~3.8	10~30	长石英砂岩风化土, 灰绿色, 具玫瑰红花斑, 滑腻, 滑动带的土体呈片状, 擦痕明显, 光滑。
ZK360	13.5~14	5~45	土质特征同上, 滑动带的土体呈片状和团块状, 见陡倾角滑动面被缓倾角滑动面切断, 孔深 2, 5 m 见滑动面, 倾角分别为 10° , 20° 。
ZK361	14.5~15	15~20	钻孔处地表每宽 30~80 cm 见一条张开裂缝, 均为陡倾角。孔深 2, 5, 8 m 见滑动面, 陡倾角, 主滑动带土体呈片状, 滑动面以下土体含较多岩石碎块, 钻进时坡面渗水量增加。
ZK362	8~10	20~45	0~8.3 m 为坡积土, 土体结构松散, 8.3~10.5 m 长石英砂岩风化土, 褐色和粉红色, 具滑感, 孔深 8.5, 10.5 m 见滑动面。0~8 m 断续不见回水, 8 m 左右漏水严重。

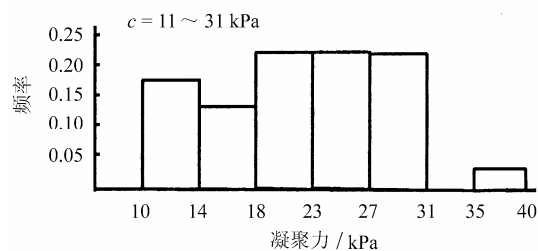


图 1 凝聚力频率分布直方图

Fig.1 The frequency distribution histograms of cohesion

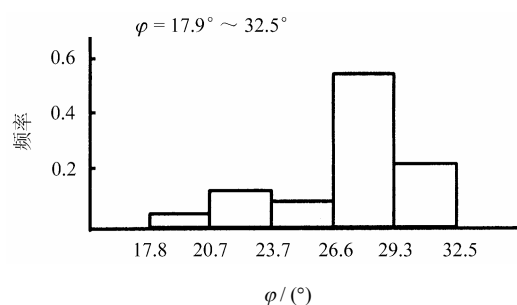


图 2 内摩擦角频率分布直方图

Fig.2 The frequency distribution histograms of internal friction angle

理为图 3, 4。剔除其最大、最小的 c 、 φ 值, 整理出 c - φ 关系见图 5。

3.2 对统计结果的分析

(1) 从图 1、图 2 可看出, 凝聚力 c 接近于均匀分布, 而内摩擦角 φ 的分布则较无规则, 比较集中分布在 27.39° 即平均值附近。

(2) 由图 3 可知, c 值呈现出随深度的变化而

波动,除表层土的 c 值由于风化作用呈较低值外,其余2个 c 值极小值点分别与表1实测滑动面的深度相对应。说明了由于滑动面的位移比较大,土体凝聚力 c 值明显受其影响而降低,反映了滑动面土体抗剪强度的应变软化作用。

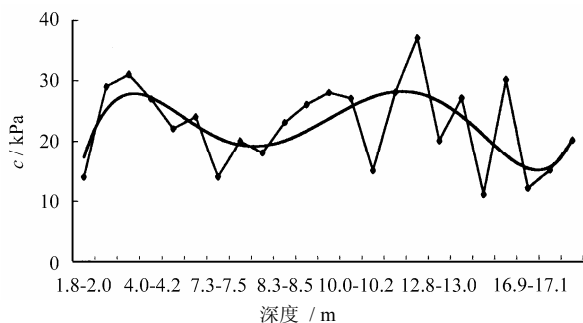


图3 土的深度与 c 的关系曲线

Fig.3 The relation curve between soil depth and cohesion

(3) 从图3还可看出,不在滑动面范围内的 c 值一般在30 kPa左右,而滑动面上的 c 值只有15 kPa或更低些。在稳定计算中,滑动面的 c 值应予以折减,并可取原土体的1/2。

图4可看出, φ 值比较稳定,不随深度而变化。

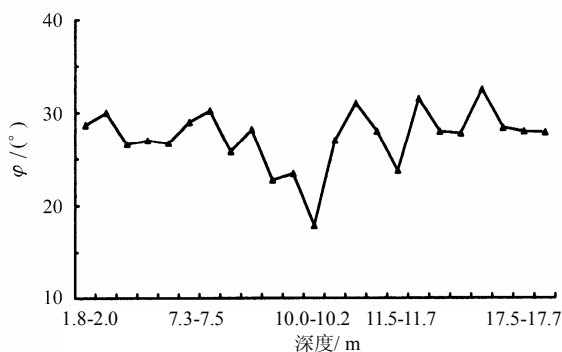


图4 土的深度与 φ 的关系曲线

Fig.4 The relation curve between soil depth and internal friction angle

(4) 从图5可看出, c 与 φ 值一一对应, φ 值比较稳定,剔除了点 $c=37$ kPa, $\varphi=23.7^\circ$; c 值则在11~31 kPa之间变化。当土体的 c 值确定后, φ 值也就可以从图5中查出。

(5) 从以上的统计分析可得出:在无雨时段里,处于滑动面范围内的 c 值应取小值,即15 kPa左右,对应的 φ 值则在 $25^\circ\sim 30^\circ$;在暴雨时段,滑动面受雨水的浸泡作用软化,抗剪强度还会进一步衰减,这时摩擦角可取最小值 $\varphi=21^\circ$,凝聚力可取平均值

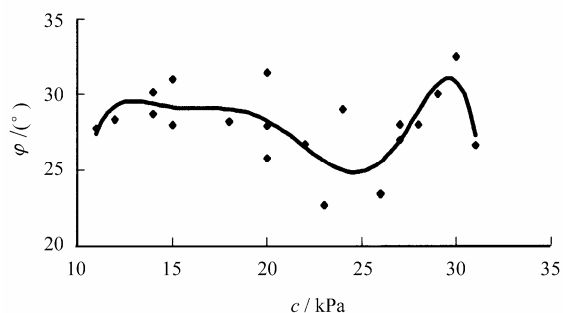


图5 c - φ 关系曲线

Fig.5 The relation curve of c - φ

的一半 $c=9$ kPa进行计算是比较合理的。若考虑滑动面含有一定膨胀土,滑动面土体出现滑坡时形成光滑滑面,其强度还会进一步减弱。

4 c 、 φ 值的反分析

残积土的抗剪强度取值是一个比较复杂而困难的课题,本文将采用多组 c 、 φ 值对该边坡进行稳定分析计算,得出反分析值。

第1组采用设计院在“某供水工程隧洞进口滑坡的发生和处理意见”中建议采用的指标,内摩擦角 $\varphi_1=25^\circ$,凝聚力 $c_1=25$ kPa;第2组采用本文数理统计分析提出的指标内摩擦角 $\varphi_2=21^\circ$,凝聚力 $c_2=9$ kPa。考虑到该边坡属残积土,滑动面含有一定的膨胀土,所以第3组 c 、 φ 值按1/3膨胀土,2/3普通土,用内插法计算出各层土的 c 、 φ 值:

在非风化的情况下,天然状态下的残积土强度一定是很高的,残积土边坡的稳定性主要由其较低的长期强度所控制。考虑到这种因素,第4组 c 、 φ 值参照湖北省水利学会膨胀土研究课题组提出的渐进型破坏面上强度指标取值方法。 c 、 φ 峰值采用

表2 边坡强度参数和安全系数计算结果

Table 2 The result of strength parameters of the slope and safety factors

参数组别 / 组	凝聚力 c / kPa	内摩擦角 φ / ($^\circ$)	安全系数
1	25	25	1.91
2	9	21	1.27
3 (按各级平台取值)	14.62	20.33	0.70
	13.15	15.7	
	11.6	11	
	11.6	11	
	11.6	11	
4 (按各级平台取值)	9.44	18	0.32
	7.22	11	
	5	4	
	5	4	
	5	4	

“某供水工程隧洞进口滑坡的发生和处理意见”中全风化带重壤土和重粉质壤土试验综合指标： $\varphi_{ip}=25^\circ$ ， $c_{ip}=25\text{ kPa}$ 。由于该边坡含有一定的膨胀土，特别在滑动面含量更大，加上坡脚处滑动面位移量已相当大，该边坡土的残余值参照采用文献[1]试验结果： $\varphi_{fr}=4.0^\circ$ ， $c_{fr}=5\text{ kPa}$ ，按膨胀土性质，各级斜坡滑动面 c 、 φ 值计算如表 2。

计算断面的选择，根据边坡地形地貌的情况，沿着 ZK360~ZK363 所切的剖面为 C-C 断面，见图 6。

本文采用简化毕肖普法寻找局部最小稳定安全系数和相应的滑动面，计算结果表明，局部边坡稳定安全系数从第 1 组至第 4 组逐渐变小，采用第 2 组 c 、 φ 值时，该边坡已基本处于极限平衡状态。 c 、 φ 值采用部分膨胀土（即膨胀土占 30%）时，局部最小稳定安全系数只有 0.70，大大地低于容许值，按膨胀土抗剪强度计算其最小稳定安全系数更小。由于边坡历史上已出现过滑坡，由以上 4 组强度参数的计算表明，第 2 组参数 $\varphi=21^\circ$ ， $c=9\text{ kPa}$ 符合边坡的实际状态，可以确定为边坡土体的强度指标。

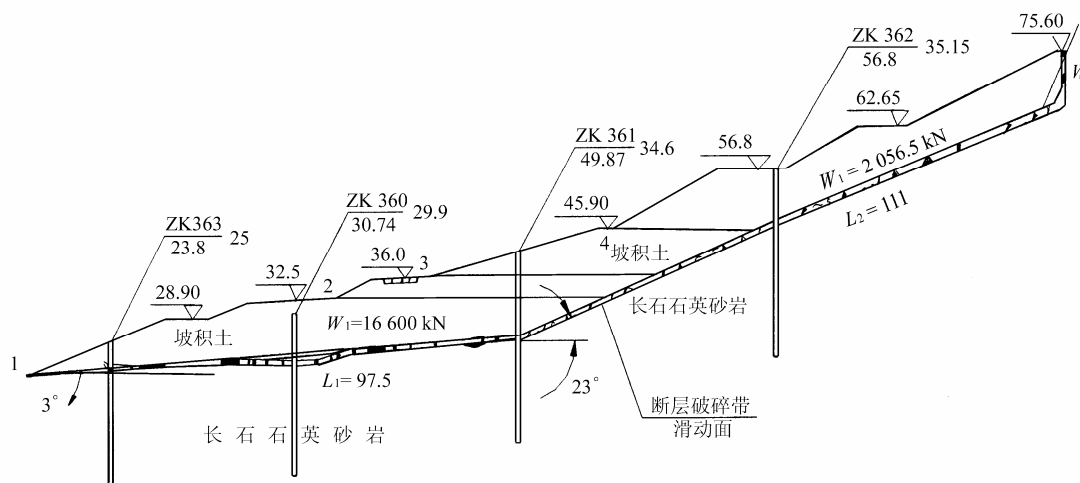


图 6 C-C 断面稳定分析计算示意图

Fig.6 The stability analysis and calculating sketch map of section C-C

5 结 语

本文讨论了残积土边坡稳定分析中土体强度参数的确定方法。利用数理统计方法分析了某边坡残积土强度参数 c 、 φ 值的分布规律，发现 φ 值较稳定，变化不大；而 c 值波动较大，且边坡滑动面位置的土体 c 值明显较低，进而提出了土体强度指标的建议值：内摩擦角可取滑动面上的最小值，凝聚力可取平均值的一半进行计算是比较合理的。利用建议的土体强度指标进行了高边坡的稳定计算，

由反分析结果可看出本文提出的取值方法符合边坡实际状态的土体强度参数。

参 考 文 献

- [1] 湖北省水利学会膨胀土研究课题组. 鄂北岗地膨胀土特性及渠道滑坡防护与整治的研究报告[R], 1991.
- [2] 卢肇钧. 粘性土抗剪强度研究的现状与展望[J]. 土木工程学报, 1999, 32(4): 3—8.
- [3] 魏汝龙, 张凌. 稳定分析中的强度指标问题[J]. 岩土工程学报, 1993, 15(5): 24—30.

本刊电话号码变更通知

因电信局对中科院武汉分院地区的电话实行集团化管理，本刊电话号码改为：027-87198484。特此通知。请相互告知为感。

中国科学院武汉岩土力学研究所
《岩土力学》编辑部