

现场直剪试验在矿山边坡勘查中的应用

第六图书馆

通过现场直剪试验与室内直剪试验方法成果进行比较, 阐述了现场直剪试验方法的优点, 对室内直剪试验存在的问题进行了探讨, 分析说明现场直剪试验方法在矿山边坡勘查中的推广应用。饱和状态和天然状态下土的抗剪强度试验结果表明, 孔隙水压力对边坡稳定产生较大影响。通过现场直剪试验与室内直剪试验方法成果进行比较, 阐述了现场直剪试验方法的优点, 对室内直剪试验存在的问题进行了探讨, 分析说明现场直剪试验方法在矿山边坡勘查中的推广应用。饱和状态和天然状态下土的抗剪强度试验结果表明, 孔隙水压力对边坡稳定产生较大影响。边坡 现场直剪试验 室内直剪试验 抗剪强度 孔隙水压力矿业快报彭月英河南省地矿局第三地质调查队, 4640002007第六图书馆

第六图书馆

www.6lib.com

现场直剪试验在矿山边坡勘查中的应用

彭月英

(河南省地矿局第三地质调查队)

摘要:通过现场直剪试验与室内直剪试验方法成果进行比较,阐述了现场直剪试验方法的优点,对室内直剪试验存在的问题进行了探讨,分析说明现场直剪试验方法在矿山边坡勘查中的推广应用。饱和状态和天然状态下土的抗剪强度试验结果表明,孔隙水压力对边坡稳定产生较大影响。

关键词:边坡;现场直剪试验;室内直剪试验;抗剪强度;孔隙水压力

中图分类号:TD854.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-5683(2007)01-0035-04

Application of in-situ Direct Shear Test in Mine Slope Exploration

Peng Yueying

(No.3 Geologic Survey Team, Henan Geologic Bureau)

Abstract:Based on the comparison of the results and methods of in-situ direct shear test and direct shear test in a laboratory, the advantages of in-situ direct shear test are expounded and the problems existed in the direct shear test in the laboratory are discussed. It is proved that the in-situ direct shear test method can be widely used in exploration of mine slopes. The testing results of soil shear strength in saturation condition and natural condition show that pore water pressure has a big influence on stability of slopes.

Keywords:Slope; in-situ direct shear test; Direct shear test in a laboratory; Shear strength; Pore water pressure

近年来,随着地质灾害破坏损失的不断加剧,促使人类把减灾治灾工作提高到前所未有的程度。地质灾害勘查是地质灾害治理前期必不可少的基础性工作,主要查明边坡及滑动带上岩土体的分布特征、滑动带上岩土体的物理力学性质指标、地下水的埋藏条件等。土体抗剪强度指标是边坡治理设计的主要参数,测定岩土体抗剪强度有室内直剪试验、室内三轴试验、现场直剪试验等多种方法。室内测试方法由于受试验设备、试验方法、土样状态等多种因素制约,存在较大的局限性。现场直剪试验因其在原位条件下进行测试,更能反映岩土体的实际抗剪强度,并能把土体的非均质性及软弱面等对抗剪强度的影响更真实地反映出来。现场直剪试验尤其适用于测定边坡或滑坡的岩体软弱结构面、岩石和土的接触面、滑动面以及粘性土、粉土、砂土、碎石土的混合土层和其它粗颗粒土层的抗剪强度,是边坡勘查原位测试的重要手段之一。

彭月英(1967-),女,汉族,河南省信阳人,高级工程师,注册岩土工程师,464000 河南省信阳市东方红大道 527 号。

1 土的抗剪强度

土的抗剪强度是指土体抵抗剪切破坏的极限能力。土的抗剪强度不仅与土的性质有关,还与试验时的排水条件、剪切速率、应力状态等许多因素有关,其中最重要的因素之一就是试验时的排水条件。根据太沙基有效应力原理^[1],土体内的剪应力仅能由土的骨架承担,孔隙水压力大小对土的抗剪强度和稳定性有重要影响。

岩土体的抗剪强度指标可通过现场直剪试验和室内直剪试验综合确定。现场直剪试验分为岩土体试体在法向应力作用下沿剪切面剪切破坏的抗剪断试验、岩土体剪断后沿剪切面继续剪切的抗剪试验(摩擦试验)、法向应力为零时岩体剪切的抗切试验^[2]。直接测定土的抗剪强度的室内试验主要有直剪试验、单剪试验、三轴试验、环剪试验和扭剪试验^[3]。一般采用现场直剪试验和室内直剪试验,对边坡滑动带岩土体的抗剪强度指标进行综合测试。

2 工程实例

某矿区一边坡由于受矿山开采的影响,正处于

蠕变变形状态,该边坡滑动带以上土层以耕植土、粘性土和残坡积土为主,滑动带地层主要为坡积土和全-强风化花岗岩,下部基岩为花岗岩。为准确测定该边坡滑动面(带)上岩土体天然状态和饱和状态下的抗剪强度指标(c 、 ϕ),分别在滑动面(带)的坡积土和全-强风化花岗岩中,模拟边坡滑动时的受力及排水条件,进行天然状态和饱和状态下的现场直剪试验,同时,取原状土样进行室内直剪试验,并对两种试验结果进行综合分析比较,为边坡治理设计提供更加客观、合理的设计计算参数。

2.1 试验方法

现场直剪平推法测试岩土体的抗剪强度时,岩土体的剪损面不受剪力盒的限制,其剪损面只取决于岩土体的性质和土体内软弱结构面的分布,因此现场直剪平推法试验比较适合测定残坡积土、混合土等粗细不均匀土的抗剪强度^[4]。根据该边坡滑动带的岩土层分布特征,采用直剪平推法,由水平应力或剪切位移进行控制。水平推力的作用线通过剪切面,剪力方向与滑动方向一致(见图 1)。按照固结剪切试验的要求,先施加垂直固结压力,再施加水平剪力。试验法向应力由堆载平台提供,水平推力由千斤顶产生,当水平推力达到峰值(稳定值)或剪切位移达到一定数值时,即可终止试验^[5]。

2.2 试样制备

根据场地工程地质条件和滑坡滑动带的分布特征,选择有代表性的试验点开挖试坑,试坑的开口尺寸应根据土质情况和试验深度而定;当试坑开挖到要求试验深度 0.2m 以上时,停止全面开挖,预留土埂,以便制备试样。制备试样时一般将剪力盒放在土体上,边细心削土,边将剪力盒压入形成土样,避免对试样原状结构进行扰动^[6]。试坑开挖深度以满足每组作为一组试验为准。开挖时应避免对试体结构的扰动和含水量的显著变化。

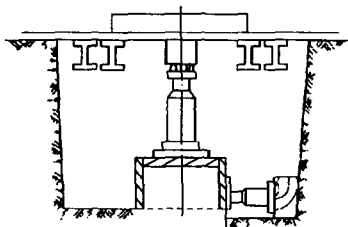


图 1 平推法直剪试验示意图

本次共制备试样 8 处 24 组,在坡积土和全-强风化花岗岩上分别布置 4 处,其中 1 处进行天然状态下的固结抗剪试验,另 3 处进行饱和状态下的固结抗剪试验。

2.3 试验过程

(1)试样制备完毕,及时安装试验设备,检查其灵活性,并采取必要的安全措施,以保证试验顺利进行。设备安装过程中,避免对试样结构的扰动。

(2)施加的法向荷载、剪切荷载应位于滑动面(带)的中心,并保持法向荷载不变。出现法向压力减低时,应及时补压。每组试验施加的法向荷载大于设计荷载,分 4~5 级达到试验要求的压力;施加的第一组法向荷载应等于上覆地层的自重。垂直变形稳定后,便可施加水平推力。

(3)用千斤顶均匀连续地对试样施加切向剪应力。在试验过程中按规定测读剪应力和剪应变,当剪切变形不断增加,水平推力量测仪表连续 3 次记录不变,或水平向位移与试样宽度之比达到 1/20~1/10 时即可认为试样已剪切破坏。

3 试验成果分析

3.1 现场直剪试验

根据现场直剪试验结果,绘制天然状态和饱和状态试样在不同法向应力下的剪应力 τ 与剪切位移 W 曲线(见图 2、图 3);在 τ ~ W 曲线上取剪应力峰值或稳定值 τ_f (表 1、表 2),以 τ_f 为纵坐标,法向应力 σ 为横坐标,绘制剪应力峰值 τ_f 与法向应力 σ 关系曲线(见图 4)。此直线的倾角为摩擦角 ϕ ,纵坐标截距为内聚力 c ,即可求得岩土体的峰值抗剪强度参数 c 、 ϕ 值(见表 3)。或按库仑抗剪强度表达式确定 c 、 ϕ 值。

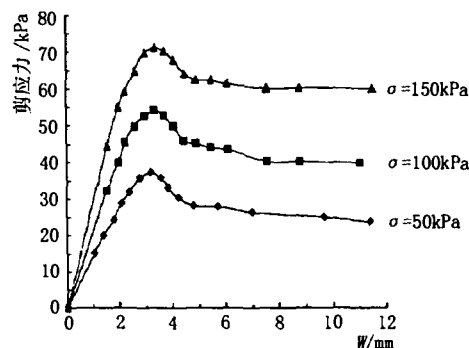


图 2 全-强风化花岗岩饱和状态剪应力-剪切位移曲线

表 1 现场直剪试验抗剪试验强度结果统计表(天然状态)

试样	试样号	法向应力 σ /kPa	峰值强度 τ_f /kPa
$Q_1 \sim Q_3$ 全风化花岗岩	1	50	40.0
	2	100	60.0
	3	150	80.0
$T_1 \sim T_3$ 残坡积土	1	50	25.5
	2	100	36.0
	3	150	47.9

通过对天然状态和饱和状态下土样的剪应力 τ 与剪切位移 W 曲线进行比较可以看出:在相同的法

向应力作用下,饱和状态下土体的抗剪强度 c 、 ϕ 值明显低于天然状态下的抗剪强度。

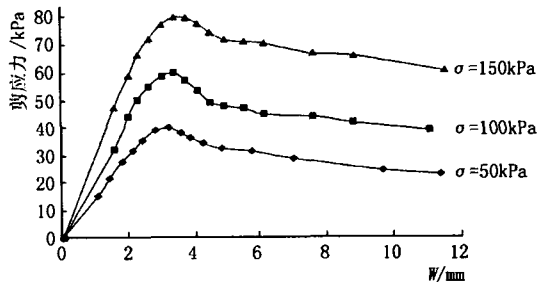


图 3 全-强风化花岗岩天然状态剪应力-剪切位移曲线

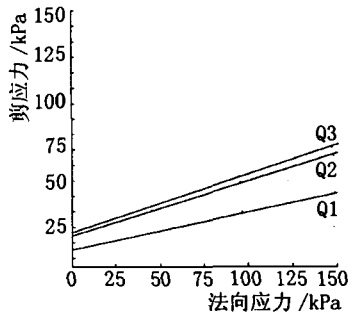


图 4 全-强风化花岗岩剪应力-法向应力关系曲线

表 2 现场直剪试验抗剪试验强度结果统计表(饱和状态)

试样	试样号	法向应力 σ /kPa	峰值强度 τ_f /kPa
Q ₁₋₁ ~Q ₁₋₃ 全风化花岗岩	1	50	21.3
	2	100	22.8
	3	150	44.3
Q ₂₋₁ ~Q ₂₋₃ 全风化花岗岩	1	50	34.0
	2	100	50.0
	3	150	66.0
Q ₃₋₁ ~Q ₃₋₃ 全风化花岗岩	1	50	37.0
	2	100	54.0
	3	150	71.0
T ₁₋₁ ~T ₁₋₃ 残坡积土	1	50	19.5
	2	100	28.5
	3	150	37.5

表 3 现场直剪试验抗剪强度试验结果

试样	试样状态	粘聚力 c /kPa	内摩擦角 ϕ /($^{\circ}$)	$\tan\phi$
Q ₁ ~Q ₁	天然	20.0	22.0	0.40
T ₁ ~T ₁		13.0	13.0	0.23
Q ₁₋₁ ~Q ₁₋₃	饱和	9.8	12.7	0.23
Q ₂₋₁ ~Q ₂₋₃		18.0	18.0	0.32
Q ₃₋₁ ~Q ₃₋₃		20.0	19.0	0.34
T ₁₋₁ ~T ₁₋₃		9.5	10.5	0.18

3.2 室内直剪试验

室内采用应变控制式直剪试验。试验时先对正上下剪力盒,然后推入土样,加上透水石与压盖。先施加垂直压力,然后向下面的剪力盒施加水平推力;测量上下盒间水平剪切位移,直至土样剪坏或取剪切位移为 4mm 时所对应的剪应力值作为破坏应力值。对室内 40 件样品结果进行数理统计,结果见表 4。

土的抗剪强度由下式计算:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi,$$

式中, τ 为土的抗剪强度, kPa; c 为土的粘聚力, kPa; ϕ 为土的内摩擦角($^{\circ}$); σ 为作用于剪切面上的法向应力, kPa。

表 4 室内直剪试验抗剪强度试验结果

试样名称	状态	粘聚力 c /kPa		内摩擦角 ϕ /($^{\circ}$)	
		区间值	平均值	区间值	平均值
强风化花岗岩	天然	86.3~26.2	39.3	31.1~9.2	19.5
坡积土	天然	63.1~12.3	22.0	28.9~6.1	14.2
强风化花岗岩	饱和	75.2~11.2	28.2	26.8~6.5	16.1
坡积土	饱和	54.9~7.4	16.3	20.3~3.6	9.7

3.3 成果分析

现场直剪试验是在岩土体原位条件下直接进行测试,试样保持了岩土体的原状结构和天然含水量,其测试结果较客观真实地反映岩土体的抗剪强度。从现场直剪试验测试结果分析,根据统计学区间估计理论置信区间的概念,按 3 倍标准差即 $\pm 3S$ (S 为标准差)作为统计范围取舍标准,试验所测得的天然或饱和状态下岩土体的抗剪强度结果均在取值范围之内;离散性较小,可信度较高,其试验结果可作为滑坡治理的设计依据。

该滑坡滑动带地层主要由坡积土和强风化花岗岩组成,成分复杂,且细颗粒极不均匀,难以取到 I 级原状态试样。室内直剪试验的试样由于受取样、运输、测试、试样结构扰动、失水等因素的影响,导致测试结果离散性大,置信区间内样品数量较少;样品结果不能客观地反映土体的真实强度,仅能作为滑坡治理设计的参考依据。

3.4 地下水渗流的影响

根据现场直剪试验结果和室内直剪试验结果,饱和状态下岩土体的抗剪强度均比天然状态下的抗剪强度低,说明水的作用是边坡稳定的一个极其重要的影响因素。由于地下水渗流,增大了滑动面上的孔隙水压力,相应减小了有效应力,降低了滑面上的抗剪力。根据太沙基有效应力原理,作用于饱和土体剪切面上的法向应力由有效应力和孔隙水压力两部分组成^[1], $\sigma = \sigma' + u$, 由于孔隙水压力不能承担剪力,产生不了强度,实际上剪力只能由颗粒骨架承担,即土的强度是骨架颗粒抵抗剪力的极限能力。因此,抗剪强度公式可写为:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' = c' + (\sigma - u) \tan \phi',$$

式中, c' 、 ϕ' 分别为土的有效内聚力和有效内摩擦角; σ' 为作用于饱和土体剪切面上的有效法向应力。

由上述公式可以看出,在总应力 σ 作用下,土

的抗剪强度决定于土粒间的有效应力 σ' ; 如果孔隙水压力 u 增大, 软化了土体, 则粒间有效应力 σ' 降低, 土的抗剪强度 τ_f 减小, 其稳定性变差。土体由天然状态变为饱和状态, 增加了滑动带上覆土体重量, 相应加大了净滑动力; 若滑坡坡脚浸水, 又使抗滑部分土体重量减轻, 减小了抗滑力; 坡体后缘垂直张裂缝充水, 增加滑动推力。以上几种情况, 均加速坡体向下滑移。

存在地下水渗流的边坡, 饱和土体的压力水头差即动水压力形成渗透力, 渗透力和静水压力共同作用产生渗透变形, 加剧滑坡体失稳。由一种土组成、完全在水位以上或完全在水位以下, 没有渗透水流作用的无粘性土坡, 只要坡面上的土颗粒在重力作用下能够保持稳定, 整个土坡就处于稳定状态。土坡的安全系数 $F_s = \tan\phi / \tan\alpha$ [7] (式中 α 为土坡的坡角), 安全系数与土坡的高度和土体的重度 γ 或 γ' (水下) 无关。有渗透水流的均质土坡, 水流顺坡流动, 土坡稳定安全系数 $F_s = \gamma' \tan\phi / \gamma_{\text{sat}} \tan\alpha$, 安全系数 $\gamma' / \gamma_{\text{sat}}$ 降低约为 0.5; 水流水平渗透时, 则边坡的安全系数 F_s 近似为 $F_s \approx 0.5 (1 - \tan^2\alpha) \tan\phi / \tan\alpha$, 因 $(1 - \tan^2\alpha) \leq 1$, 水平向渗透时 F_s 比顺坡渗流的更小。从现场和室内直剪试验结果也可以看出, 在相同的法向应力作用下, 同一种土饱和状态下的抗剪强度明显比天然状态下的抗剪强度低, 说明孔隙水压力大小对土的抗剪强度和稳定性有重要影响。

4 现场直剪试验与室内直剪试验方法比较

4.1 现场直剪试验

现场直剪试验岩土体试样尺寸要比室内直剪试验大得多, 而且是在原位条件下进行的, 因而试验结果可靠。现场直剪试验适用范围广, 对场地条件要求低, 可在平硐、试坑、探槽或大直径钻孔中进行, 既适用于土体, 又适用于岩体。

由于是在岩土体原位上进行, 因而该试验工序复杂, 对试样制作、设备安装、应力施加、水平位移测记、安全等方面都有非常严格的要求, 测试费用高, 费时费力。

4.2 室内直剪试验

室内直剪试验设备简单, 容易操作, 既经济又安全, 因而在工程中得到广泛应用。但由于该试验受诸多因素的限制, 其测试结果往往离散性大, 可信度低, 不宜直接作为岩土工程治理的设计依据。室内直剪试验存在如下不足。

(1) 滑动带上取 I 级原状样比较困难。本边坡滑动带上土层很薄, 地层主要由坡积土和强风化花岗岩组成, 土体颗粒大小极不均匀, 且滑坡体后缘滑动带上存在较多的拉张裂缝, 很难取到室内所需要的原状小土样。

(2) 剪切面只限制在上下剪力盒之间的平面, 而该面不一定是土样最弱抗剪面。剪切过程中剪应变分布不均匀, 且垂直荷载会发生偏转, 法向应力大小及方向都发生变化, 即剪切中应力状态不确定。

(3) 剪切过程中, 土样剪切面渐渐缩小, 但在计算强度时仍按原土样面积计算, 有误差。剪切仪上下盒接触面积大, 土体剪断错开后有部分剪损面与盒面仍保持紧密接触, 而且应变仪的上下盒不能启缝, 土样的剪损面受到一定的限制。

(5) 试验时不能严格控制排水条件和测量孔隙水压力值, 而快剪仍有排水, 对试验成果影响较大。

5 结语

(1) 现场直剪试验是在岩土体原位条件下进行测试, 其结果能较客观真实地反映岩土体的抗剪强度; 值得在边坡、滑坡、基坑支护等勘查中推广应用。

(2) 同一种土的室内直剪试验结果与现场直剪试验结果应存在一定的相关性。建议在实际工作中多收集总结各地的直剪试验成果, 并对其进行进一步研究和探讨。

(3) 多数滑坡体失稳与地下水的动水压力有关, 水是影响岩土体抗剪强度的主要因素之一。边坡、滑坡勘查及治理设计时, 应充分考虑地下水渗流的不利影响。

参 考 文 献:

- [1] 《地基与基础》编写委员会. 地基与基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.
- [2] 《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001). [S] 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [3] 《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [4] 《工程地质手册》编写委员会[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [5] 《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50026-99)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [6] 张喜发. 岩土工程勘察与评价[M] 北京: 吉林科学技术出版社, 1995.
- [7] 《注册岩土工程师专业考试辅导指南》编写委员会. 注册岩土工程师专业考试辅导指南[M]. 北京: 地震出版社, 2003.

(收稿日期 2006-10-07)