

影响三轴压缩试验成果的因素分析

张文珍

(湖南省地质工程勘察院, 湖南 株洲 412003)

摘要 在工程建设中三轴压缩试验提供的土体抗剪强度参数得到越来越广泛的应用。三轴压缩试验对设备、试样、操作等方面要求较高, 因此影响因素较多, 对试验成果影响也较大。介绍了橡皮膜约束、剪切应变速率、量环变形量等因素对抗剪强度的影响, 并对其作了详细分析, 提出了合理的校正方法, 使试验精度有效提高。

关键词 三轴压缩试验 橡皮膜约束 剪切应变速率

中图分类号: TU432

文献标识码: A

近 10 年来, 湖南省地质工程勘察院进行了上瑞高速公路(邵阳至洞口段)、武广线高速铁路(株洲至耒阳段)、阿深高速公路(湖北南段)、衡阳白渔潭水库堤防工程和宁远县水市水库安全性评价等地质勘察工作, 根据工程需要, 土工试验室完成了大量的建(构)筑物地基土、坝体土、填筑土料的三轴压缩试验。根据有关规程、规范及部分试验研究成果, 结合我院的三轴压缩试验情况, 对影响三轴试验成果的多种因素进行了分析和总结。

1 三轴压缩试验的基本概念

三轴压缩试验是测定土的抗剪强度的一种方法, 它通常用 3~4 个圆柱形试样, 分别在不同的恒定周围压力(σ_3)下, 施加轴向压力(即产生主应力差 $\sigma_1 - \sigma_3$), 进行剪切至破坏, 然后按摩尔-库仑理论, 求得抗剪强度参数^[1,2]。

三轴压缩试验采用应变控制式三轴仪, 试样直径(D)大于 100 mm 时, 土样允许最大粒径(d)须小于 $D/5$, 试样直径小于 100 mm 时, 土样允许最大粒径须小于 $D/10$ 。我院三轴压缩试验采用的试样直径为 39.1 mm, 采用的橡皮膜厚度在 0.1~0.2 mm

之间。

2 橡皮膜约束对试验成果的影响及校正方法

2.1 橡皮膜约束对试验成果的影响

在三轴压缩试验过程中, 橡皮膜套在试件的周围, 当试件受垂直压力而引起侧胀或剪损时, 橡皮膜对试件产生一种约束作用, 增大了破坏时所需的垂直压力, 从而使试验成果偏大。

试件的破坏形式主要有 2 种, 一种为塑性鼓状破坏, 另一种为脆性破坏, 其中比较典型的情况是在个别剪切面上发生剪损破坏。

当试样的剪损形式为塑性鼓状破坏时, 橡皮膜环向伸长, 使得试件所受的侧向压力增大, 此时试件的侧向压力为周围压力与橡皮膜约束作用产生的附加压力之和。根据长江水利水电科学研究院试验研究成果及国外一些资料, 此种破坏形式, 橡皮膜对试验成果的的影响很小, 可以不作校正。

当试样的破坏形式为脆性破坏尤其是在一个特殊的结构面上发生剪切破坏时, 橡皮膜对抗剪强度参数的影响较大, 必须考虑。

2.2 橡皮膜对试样约束的校正方法

通过模拟试件进行校正试验, 得到如图 1 所示

的校正曲线(模拟试件的破坏面倾角为 52°)。对每一试样,应根据破坏面的倾角进行模拟试验,得到同类校正曲线进行校正。

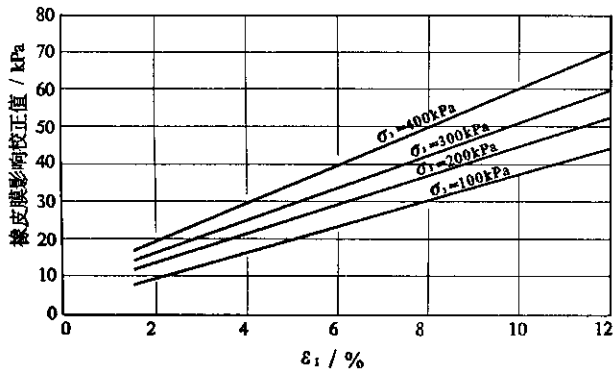


图1 橡皮膜影响校正值与轴向应变关系曲线

Fig. 1 Revise value of gum membrane vs. axis strain

3 剪切应变速率对试验成果的影响

3.1 试验条件

采用应变控制式三轴仪,试验样品为饱和粘土土,其物理性质见表1。试样尺寸 $\phi 39.1\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ 饱和固结不排水剪,顶端固结排水,底端通过透水石测孔隙压力 侧面贴滤纸条加速排水及传递孔隙压力 围压 100 kPa 轴向应变速率采用 0.5% 、 0.1% 、 0.045% 、 0.02% 和 0.009% 五种。

3.2 试验成果与分析

通过试验得到如图2所示的主应力差与应变速率关系曲线。

从图2可以看出,对于饱和粘性土,在剪切应变速率为 $0.02\%/min$ 时,主应力差最大,土体的抗剪强度最高。这是因为饱和粘性土在剪切过程中,试件剪切区的孔隙水压力通过试样或滤纸条逐渐传递到试件底部需要有一定时间,当应变速率较快

时,试件底部接受的孔隙水压力将产生明显的滞后,而数值偏低,在速率较快时,剪切区的孔隙压力不可能在整个试件产生扩散和平均,使得剪切区孔隙压力集中,从而使试件的抗剪强度降低,随着速率的减慢,剪切过程中剪切区孔隙水压力逐渐有可能向整个试件扩散,使抗剪强度有所提高,而速率降到某个数值时(如剪切应变速率为 $0.02\%/min$),剪切区孔隙压力扩散所需的时间(即整个试件孔隙压力的均匀化)与剪切历时已大致接近,这时试件底部量测到的才是整个试件孔隙压力的平均值,而剪切区孔隙压力的集中现象也降至最小,从而可以获得最大的抗剪强度。当速率再减慢时,土体的流变现象又逐渐反映出来,因为土体的长期强度(流变强度)一般低于其常规强度,因而随着速率的继续降低,抗剪强度又有所减少。所以对于比较饱和的粘质土(粘粒含量一般超过 30% ,透水性较差的土),为了测得较为准确的抗剪强度,建议最好采用 $0.02\%/min$ 的剪切应变速率。

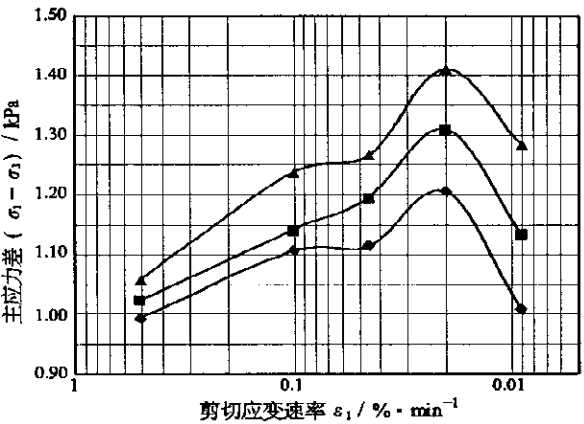


图2 主应力差与剪切应变速率关系

Fig. 2 Main stress discrepancy vs. velocity of shear strain

表1 试验样品物理性质指标
Table 1 Physics index of soil sample

天然状态土的物理性质指标							塑性 指数	颗粒组成					
含水量	比重	块体密度		孔隙比	饱和度	孔隙度		砾石		砂粒		粉粒或粘粒	
		湿	干										
$w/\%$	G_s	ρ_o	ρ_d	e_o	$Sr/\%$	$n/\%$	I_p	粒径/mm					
		$/g \cdot cm^3$										> 200	200 ~ 20
25.5	2.74	1.99	1.59	0.723	96.6	42.0	16.0				6.0	59.0	35.0

《土工试验规程 (SL237 - 1999)》(以下简称《规程》)中规定对于饱和固结不排水测孔隙压力的三轴压缩试验,粘质土剪切应变速率为 0.05%/min ~ 0.1%/min,高密度的粘性土剪切应变速率为小于 0.05%/min。

采用 0.02%/min 的剪切应变速率,试验时间较长,剪切至 15% 的应变需 12.5 小时,而采用 0.05%/min 的剪切应变速率进行试验则将要减少一半以上的时间,仅需要 5 小时,试验带来的误差一般不到 2%,根据粘质土的实际情况,可以认为采用 0.05%/min ~ 0.1%/min 的剪切应变速率是可行的,但对于高密度的粘性土剪切应变速率一定要小于 0.05%/min,建议接近 0.02%/min。

4 量力环变形量对试验数据的影响及校正方法

4.1 量力环变形量对试验数据的影响

根据《规程》,三轴压缩试验在剪切过程中,试样面积的计算公式^[3~5]为:

$$A_a = A_c / (1 - 0.01 \varepsilon_1) \tag{1}$$

$$\varepsilon_1 = \Delta h_i / h_c \tag{2}$$

$$A_c = A_0 (1 - \Delta v / v_0)^{2/3} \tag{3}$$

$$h_c = h_0 (1 - \Delta v / v_0)^{1/3} \tag{4}$$

式中: A_c 为固结后面积/cm²; h_c 为固结后高度/cm; Δv 为排水量/ml; ε_1 为轴向应变/%; $h_0 = 80$ mm, $A_0 = 12$ cm², $v_0 = 96$ cm³

式(2)中的 Δh_i 为轴向位移计读数,实际由两部分组成,一部分为试样的变形量,一部分为量力环的变形量。

《规程》中将量力环的变形量忽略,使得试样在剪切过程中的面积(A_a)计算偏大,而主应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)偏小。这样将或多或少的影响试验数据。表 2 列出了量力环变形量对试验数据的影响程度。

试验条件为周围压力 200 kPa,试样为硬质粘土。由表 2 可以看出,当周围压力为 200 kPa 时, $\sigma_1 - \sigma_3$ 校正前后最大相差 0.2%。

对于硬质粘土,应变较小而量力环变形量较大时,对试验数据有一定影响,应进行校正。对于饱

表 2 量力环变形量对试验数据的影响				
Table 2 Effect of deformation of stress measure ring				
轴向位移 /0.01mm	量力环变形量 /0.01mm	($\sigma_1 - \sigma_3$) /kPa	校正后 ($\sigma_1 - \sigma_3$) /kPa	相差百分数/%
50	10	126.3	126.4	0.1
100	13	163.1	163.4	0.2
150	15	187.0	187.3	0.2
200	20	247.7	248.3	0.2
250	30	369.1	370.6	0.4
300	42	513.4	516.2	0.5
350	50	607.1	611.1	0.7
400	60	723.7	729.5	0.8
450	70	838.6	846.6	1.0
500	82	975.8	986.6	1.1
550	90	1063.7	1076.8	1.2
600	93	1091.6	1105.6	1.3
650	110	1282.3	1301.8	1.5
700	115	1331.3	1352.7	1.6
750	117	1345.0	1367.1	1.6
800	120	1369.8	1393.0	1.7
850	123	1394.1	1418.5	1.8
900	125	1406.6	1431.9	1.8
950	132	1474.7	1502.9	1.9
1000	140	1552.8	1584.5	2.0
1050	150	1651.6	1688.0	2.2
1100	156	1705.0	1744.4	2.3
1150	158	1714.1	1754.5	2.4
1200	160	1722.9	1764.3	2.4

和软粘土,由于量力环变形量较小, $\sigma_1 - \sigma_3$ 校正前后相差不大,一般不超过 2%,可不进行校正。

4.2 量力环变形量对试验数据影响的校正

对于硬质粘土,建议当 $\sigma_1 - \sigma_3$ 校正前后相差 2% 时,应进行校正,以便得到其准确的抗剪强度参数。校正方法为将公式(2)中的 Δh_i 减去量力环变形量,其他不变。

5 其他影响因素分析

5.1 试样安装的影响

在安装试样后,加周围压力前应使试样帽与连接量力环的传压杆接触良好,再加周围压力,否则先加周围压力,调整试样接触情况不易控制。接触不良或安装试样时已发生一定的变形都会对试验成果造成影响。

5.2 试样制备的影响

原状样扰动或制备的土样不均,都将影响试验数据。切削原状土样时,要保持原状土的结构。扰动样做三轴压缩试验时,建议采用按要求的密度一次静压成型的方法,然后从同一密度的土块上削制三轴试验样品。

对于测孔隙压力的试样,应采用抽气饱和的方式进行饱和,试样饱和度应达 98% 以上,必要时采用反压饱和。

5.3 试样安装与制备影响的校正

试样安装与制备的影响因素很多,还取决于操作人员的技术水平与训练程度,不宜定量控制。对于重要工程,应进行平行试验,并使试验的极差限制在有关《规范》要求之内。

6 结论

(1) 当试验剪切破坏形式为鼓胀破坏时,橡皮膜对试验成果的影响较小,可以不做校正;土试样

剪切破坏形式为脆性破坏时,应根据破裂面倾角的大小进行模拟试验校正。

(2) 对粘粒含量高、透水性差、高密度的粘性土,建议采用接近 0.02%/min 的剪切应变速率进行三轴压缩试验;对于塑性指数低、密度小的粘性土,建议采用接近 0.05%/min 的剪切应变速率进行三轴压缩试验;对于排水较好的粉质类土,可以采用 0.1% ~ 0.5%/min 的剪切应变速率。

(3) 对于硬质粘性土,量力环变形量对试验成果的影响较大,当 $\sigma_1 - \sigma_3$ 校正前后相差 2% 时,应进行校正;对于软粘土,量力环变形量对试验成果的影响较小,可不进行校正。

(4) 操作人员的技术水平与训练程度对试样制备与安装影响较大且不宜定量控制,应进行平行试验进行校正。

参考文献:

- [1] SL237 - 1999,土工试验规程[S].
- [2] JTJ051 - 93,公路土工试验规程[S].
- [3] TB10102 - 2004 J338 - 2004,铁路工程土工试验规程[S].
- [4] 常士骝,张苏民,项勃,等. 工程地质手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1992.
- [5] GB50007 - 2002,建筑地基基础设计规范[S].

Influencing factors to triaxial compression test

ZHANG Wen-zhen

(Geotechnical Investigation Institute of Hunan Province, Zhuzhou 412003, China)

Abstract: Parameters of shear strength from triaxial compression test are widely used in project construction. Triaxial compression test has strict requirements in equipment, soil samples and operation etc. and there are many factors influencing the test result. This paper analyzes manifold effect on triaxial compression test, such as the restriction of gum membrane, velocity of shear strain, deformation of stress measure ring etc. and puts forward appropriate revising method of efficiently improving test precision.

Key words: triaxial compression test; restriction of gum membrane; velocity of shear strain