

三轴不固结不排水剪的试验方法

张海霞¹, 陈 勇², 秦帮民²

(1. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098; 2. 南京市水利规划设计院, 江苏 南京 210005)

摘要 介绍土工试验标准与土力学教科书中关于三轴不固结不排水剪的试验方法。指出按照目前规范方法获得的三轴不固结不排水剪强度参数规律与教科书中论述的相应规律有明显的差别。对于均匀土层, 按照规范得到的饱和正常固结土的抗剪强度值基本不随取样深度而变化, 与实际情况(现场十字板抗剪强度试验结果)不相符, 按照教科书方法得到的抗剪强度值则随取样深度增加而增大, 与实际情况(现场十字板抗剪强度试验结果)相符。为统一试验方法和提高试验参数的可用性, 建议修订土工试验标准中规定的三轴不固结不排水剪试验方法。

关键词 不固结不排水剪试验; 抗剪强度指标; 饱和固结土

中图分类号: TU438 文献标识码: B 文章编号: 1006-764X(2007)03-0030-02

Methods on unconsolidated and undrained triaxial shear tests//ZHANG Hai-xia¹, CHEN Yong², QIN Bang-min²
(1. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Institute of Nanjing Water Conservancy Plan and Design, Nanjing 210005, China)

Abstract: The methods on unconsolidated and undrained triaxial shear tests are different in the testing codes and textbooks in China, and they produce different results: the shear strength of homogeneous saturated normal consolidated soil obtained according to the testing codes is independent on the depth of soil layer, which is in disagreement with the reality obtained from field vane shear tests. However, the shear strength obtained according to the method from textbooks shows an increase trend with the depth of soil layer, and the rule is coincident with the reality and the result of field vane shear tests. Therefore, it is suggested that the methods of testing code should be modified and normalized so that the reliability of the experimental parameters could be improved.

Key words: unconsolidated and undrained triaxial shear test; shear strength index; saturated consolidated soil

我国最新颁布的 GB/T 50123—1999《土工试验方法标准》以及更早颁布的土工试验标准^[1-2](以下简称规范), 其中关于土的三轴不固结不排水剪(UU 剪)试验方法与国内外土力学教科书^[3-5]中介绍的试验方法有本质的不同, 使得各勘测单位试验获得的三轴不固结不排水剪强度指标与理论强度指标和科研单位试验获得的指标有明显的差别, 给工程设计人员合理选择土体抗剪强度指标带来困难。本文将详细介绍规范中试验步骤与土力学教科书中试验步骤的差别, 并分析规范方法的不合理性, 为试验人员改进三轴不固结不排水剪试验方法和以后修改规范提供参考。

1 规范和教科书中的试验步骤及其差别

1.1 规范规定的试验步骤

我国的土工试验标准^[1-2]规定的原状土进行三轴不固结不排水剪试验主要步骤如下:

a. 试样制备。先用钢丝锯切取长度大于试样长度约 2~3 cm、直径稍大于试样直径的土柱, 然后将土柱放在切土盘的上、下圆盘之间, 用钢丝锯或切土刀紧靠侧板, 由上往下细心切削, 边切削边转动圆盘, 直至土样被切削成规定的直径为止(对于较硬的土样, 也可以用切土器切削)。切削试样时应避免(实际上只能是尽量减少)扰动, 当土样表面遇有砾石或凹坑时, 允许用削下的余土填补。

b. 试样饱和。根据试样土质不同, 可采用抽气饱和、水头饱和或反压饱和。试样饱和标准: 在不排水条件下, 当孔隙水压力增量与周围压力增量之比 $\frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3} > 0.98$ 时, 认为试样饱和。

c. 试样安装。在压力室的底座上依次放上不透水板、试样及不透水试样帽, 将橡皮膜用承膜筒套在试样外, 并用橡皮筋将橡皮膜两端分别与底座及试样帽扎紧。装上压力室, 使顶部活塞杆对准试样

中心并与试样帽顶的中心圆形凹坑接触。拧紧底座与压力室连接螺丝后向压力室注水,待压力室顶面排气孔有水溢出时,拧紧排气孔密封螺丝。转动手轮使试样底座上抬,当试样帽与活塞杆紧密接触、测力计开始显示有压力作用时,安装轴向变形指示计,将测力计和轴向变形指示计调零。

d. 施加围压。关闭排水阀,在不排水条件下向试样施加规定的周围压力。

e. 试样剪切。仍然在不排水条件下以每分钟轴向应变 $0.5\% \sim 1\%$ 的速率开始剪切。

f. 在剪切过程中,试样每发生 0.2 mm 的变形时测记 1 次测力计读数和轴向变形值。一直进行到试样发生 $15\% \sim 20\%$ 的轴向应变后,停止剪切。

1.2 土力学教科书的试验步骤

土力学教科书^[3-5]中规定的三轴不固结不排水剪试验步骤如下:

a. 试样制备、试样饱和及试样安装的步骤与规范规定的相同。但在试样安装过程中,试样底座和试样帽与试样接触面间均应放置透水石,保证在试验过程中需要的时候能排水固结。

b. 施加围压。由于试验使用的原状土样取自地下一定深度,已经经受过自重应力的固结作用。对于正常固结土,土体所受固结应力竖直方向等于自重应力 σ_s ,水平方向等于 $k_0\sigma_s$ (k_0 为静止侧压力系数,小于 1);对于超固结土,竖直方向所受固结应力等于自重应力 σ_s ,但水平方向所受固结应力常大于竖向自重应力(至少大于正常固结土的水平方向固结应力);对于欠固结土,竖直方向所受固结应力 σ'_z 小于现有的自重应力 σ_s ,水平方向等于 $k_0\sigma'_z$ 。但把土样取出以后,土体所受应力释放,无论是正常固结土、超固结土还是欠固结土的试样,都处于超固结状态。土体的抗剪强度是由于经受过固结作用的结果,因此,为了准确测定试样的抗剪强度,必须模拟其所受的固结应力。室内进行三轴不固结不排水剪试验过程中,要求试样先经受过其在地基中受到的固结应力作用。为此,合适的试验方法应该是先给 1 组试样(通常为 4 个试样)施加相同的初试固结应力 σ_0 (σ_0 的大小由取样深度、土体性质、地下水位和土体固结状态所决定,等于该土样在原始状态的平均固结应力),模拟试样在原始状态所受的固结应力作用。所有试样在 σ_0 作用下排水固结完成以后再在不排水条件下施加不同的围压增量 $\Delta\sigma_3$ 。对于正常固结土,建议初试固结应力 $\sigma_0 = 0.8\sigma_s$;对于超固结土,建议初试固结应力 $\sigma_0 \geq \sigma_s$;对于欠固结土,建议 $\sigma_0 = 0.8\sigma'_z$ 。

c. 试样剪切。1 组 4 个试样在不排水条件下施加不同围压增量 $\Delta\sigma_3$ 后,再在不排水条件下以每分钟轴向应变 $0.5\% \sim 1\%$ 的速率开始剪切。在剪切过程中,试样每发生 0.2 mm 的变形时测记 1 次测力计读数和轴向变形值。一直进行到试样发生 $15\% \sim 20\%$ 的轴向应变后,停止剪切。

1.3 规范方法与教科书方法的根本区别

对于三轴不固结不排水剪试验,规范规定的试验步骤与土力学教科书建议的试验步骤的根本差别就是试样是否经受过初试固结应力 σ_0 作用,并使试样在 σ_0 作用下完成排水固结过程。

规范给出的步骤是 1 组试样在不排水条件下直接受不同的围压 σ_{3i} ($i = 1, 2, 3, 4$) 作用,然后在不排水条件下剪切。对于饱和试样,不排水条件下围压 σ_{3i} 将全部成为孔隙水应力,因此 4 个试样都是在有效围压 $\sigma_3' = 0$ 的条件下剪切,这与试样在地下一定深度受力剪切的条件有明显差别。因为试样剪切前都处于超固结状态,剪切过程中将产生体积膨胀而使孔隙水应力降低,因此,试样都有一定的抗剪强度,但这种机理形成的抗剪强度与固结应力产生的抗剪强度不同。

土力学教科书建议的方法则是先施加各向相等的初试固结应力 σ_0 来模拟现场地基中土体所受的固结作用,然后在不排水条件下施加围压增量 $\Delta\sigma_3$ 和剪切应力,试样的抗剪强度是由于初试固结应力 σ_0 产生的,这与现场不排水条件下的地基破坏机理是一致的。教科书方法规定的不排水试验与固结不排水试验有明显的区别,固结不排水试验是 4 个试样在不同固结应力 σ_{3i} (可以分解为 $\sigma_0 + \Delta\sigma_{3i}$) 作用下排水固结完成后,再在不排水条件下剪切,与不固结不排水剪相比,固结不排水剪的试样经受过固结应力增加了 $\Delta\sigma_{3i}$ 。

从以上分析可见,土力学教科书建议的方法概念明确,更合理地模拟了土体在地基中的受力情况,关键是如何使初试固结应力 σ_0 与现场地基中土体经受过固结应力一致。

2 试验验证

为了对比规范方法和教科书方法的差别,采用取自广东省珠海市西江下游第四纪全新世沉积的正常固结黏土进行试验验证。该黏土层黏粒含量在 $55\% \sim 70\%$ 范围,塑性指数在 25 左右,天然含水率高达 $50\% \sim 85\%$,现场地下水位在地面到地面以下 2.2 m 之间变动。两组试样的取样深度分别为 5.4 m 和 10 m 。按照规范方法进行三轴不固结不排水剪试验时,取围压分别为 100 kPa , 200 kPa , 300 kPa 和 400 kPa ;按照土力学教科书建议的(下转第 34 页)

的坝趾处可建造更高的超贫胶结材料坝。

超贫胶结材料是一种低胶结材料含量的混凝土,有应变软化阶段,此阶段的切线弹性模量是负值,这时双曲线模型已不能直接使用,因此笔者采用虚加弹簧法进行处理,建立了相应的考虑材料软化的非线性分析模型,并编制了非线性有限元程序。计算分析结果表明,所编制的计算程序稳定,处理方法可行。

4 结 语

超贫胶结材料坝作为一种新的筑坝形式,具有明显的优越性,其经济性突出。超贫胶结材料坝的推广,将带来良好的经济效益和社会效益,尤其适用于中小型水利水电工程。这种以超贫胶结材料为填充料的新坝型在我国坝工建设领域的发展前景十分广阔。因此,这种新坝型推广前的研究分析,有着重要的理论意义和实用价值。有关超贫胶结材料的性能及超贫胶结材料坝的研究分析将成为坝工建设的重要研究方向之一。

(上接第 31 页)方法进行试验时,取样深度为 5.4 m 的 1 组试样取 $\sigma_0 = 60$ kPa,取样深度为 10 m 的 1 组试样取 $\sigma_0 = 100$ kPa。试验结果如图 1 所示。由图 1 显示的结果可见,取样深度 5 m 的试样按规范方法得到的抗剪强度指标为 $c = 18$ kPa, $\varphi = 2.2^\circ$,按教科书方法得到的抗剪强度指标为 $c = 25$ kPa, $\varphi = 1.8^\circ$;取样深度 10 m 的试样按规范方法得到的抗剪强度指标为 $c = 20$ kPa, $\varphi = 2.4^\circ$,按教科书方法得到的抗剪强度指标为 $c = 38$ kPa, $\varphi = 2.0^\circ$ 。

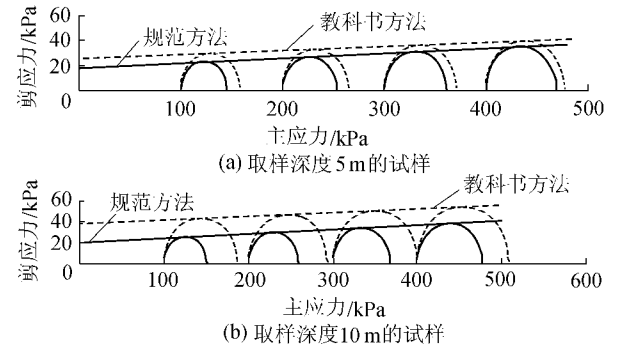


图 1 两种方法不固结不排水剪试验强度比较

若按照规范的方法进行试验,得到的抗剪强度值总是比按照教科书方法得到的小,同时,规范方法得到的抗剪强度值基本上不随取样深度增加而增大,而按照教科书方法进行试验,均匀黏土层抗剪强度值将随取样深度增加而明显增大。教科书方法得到的结果与现场十字板抗剪强度试验结果沿深度的

参考文献:

[1] 苗琴生,陈宗卿.中国水力发电工程:水工卷[M].北京:中国电力出版社,2000:25-30.
[2] RAPHAEL J M. The optimum gravity dam[C]//Rapid Construction of Concrete Dam. New York:ASCE,1970:221-244.
[3] RAPHAEL J M. Construction methods for soil-cement dam[C]//Economical Construction of Concrete Dam. New York:ASCE,1972:143-152.
[4] LONDE P, LINO M. The faced symmetrical hard-fill dam: a new concept for RCC[J]. Water Power and Dam Construction, 1992, 44(2):19-24.
[5] 张镜剑.碾压混凝土坝的历史、现状和趋势[J].华北水利水电学院学报,2000,21(3):1-7.
[6] DUNSFAN M R H. 碾压混凝土坝的最新进展[C]//RCC'99碾压混凝土筑坝技术国际会议论文集.成都:中国水力发电工程学会,1999:13-26.
[7] 沈崇刚.中国碾压混凝土坝当前技术进展与运行经验[C]//RCC'99碾压混凝土筑坝技术国际会议论文集.成都:中国水力发电工程学会,1999:1-12.
[8] 张镜剑,孙明权.超贫胶结材料土石面板坝研究阶段报告[R].郑州:华北水利水电学院,2002:9-45,63-75.

(收稿日期:2007-05-08 编辑:骆超)

变化规律一致。由以上的机理分析和试验结果可知,现行规范的方法确定饱和黏土的不排水强度是不合适的,其结果不能用于实际工程设计计算。

3 结 论

a. 土工试验规程介绍的三轴不固结不排水剪试验方法是存在缺陷的,试验过程中没有考虑试样在取样过程中产生的应力释放问题,没有考虑土体在地基中受到了自重应力的固结作用。

b. 土力学教科书介绍的三轴不固结不排水剪试验方法较好地考虑了地基土在自重应力作用下的固结作用,试验结果更符合实际情况。建议在实际试验时按照土力学教科书介绍的三轴不固结不排水剪试验方法进行;今后修订规范时宜完善三轴不固结不排水剪试验步骤,使规范方法与土力学教科书介绍的方法一致。

参考文献:

[1] GB/T50123—1999,土工试验方法标准[S].
[2] JTJ051—93,公路土工试验规程[S].
[3] 王保田,张福海.土力学与地基处理[M].南京:河海大学出版社,2005:116-127.
[4] WHITLOW R. Basic soil mechanics[M]. Dorchester:Dorset Press,2001:228-244.
[5] 钱家欢.土力学[M].南京:河海大学出版社,1995:123-132.

(收稿日期:2006-04-18 编辑:高建群)