

# 取样扰动对土天然强度指标的影响和处理方法

刘华清 赵春风 高大钊

(同济大学地下建筑与工程系,上海 200092)

**【摘要】** 通过对润杨大桥北锚碇粘性土和砂性土进行不固结不排水、等向固结不排水、 $K_0$ 固结不排水三轴剪切对比试验,探讨了土样扰动对土的天然强度指标的影响和恢复土样原始应力状态的预处理方法,并对直径不同取土器所取土样的强度指标进行了对比分析。

**【关键词】** 润杨大桥;不固结不排水三轴试验;等向固结不排水三轴试验; $K_0$ 固结不排水三轴试验;预处理;天然强度

**【中图分类号】** TU411.7

## Influence of Disturbed Samples on Soil Natural Strength Parameter and It's Treatment

**【Abstract】** Based on the comparing test among unconsolidated-undrained triaxial test, undrained triaxial test under equivalent consolidated condition and undrained triaxial test under  $K_0$  consolidated condition of the clay and sand in north anchor of RUNYANG big bridge, studying the influence of disturbed samples on natural strength parameter, the pretreatment method of resuming natural stress status of samples, analyzing the strength parameter of soil samples from different diameter samplers.

**【Key words】** RUNYANG big bridge, unconsolidated-undrained triaxial test, undrained triaxial test under equivalent consolidated condition, undrained triaxial test under  $K_0$  consolidated condition, pretreatment, natural strength

## 0 引言

室内土工试验的主要目的,是为了得到土的天然强度指标,但试样不可避免的会受到扰动,故利用常规室内试验来测定其强度和压缩性指标时,必须判定,这种试验指标在何种程度上可代表天然原状土层的物理、力学性质。在钻孔取土时,附加的扰动程度将随取土器和取土技术以及取土类型不同而有很大差别;同时,由于土样因卸载而应力释放,即使以后又作了重塑,但原状土和重塑土的力学性质仍有较大差异。本文研究取样扰动对土力学性质的影响和天然强度的取值方法。

引起取样扰动的原因有两个:一是卸荷作用,即土样由原位取到地上由于应力释放而引起的总应力和孔隙压力的一系列变化;二是机械扰动作用,包括取土器的压入及切样扰动等<sup>[1]</sup>。因此,要正确测试土的天然强度,不仅要改善钻探取土的设备 and 工艺及试验水平,以尽量消除机械扰动的影响;还要使三轴试验的初始应力状态符合天然土层的实际应力条件,即恢复天然土层的原始应力状态。

为了研究取样扰动以及不同直径的取土器对土的天然强度指标的影响,在润杨大桥北锚碇基坑工程科研项目子项目——非常规室

内试验研究项目中,我们采用了两种直径不同的取土器,两种取土器所取土样的物理性质相近;并采用了两种不同的土样预处理方法,即等向固结预处理法和  $K_0$  固结预处理法。对 TZ100A 和 THD50 取土器所取的土样,进行了原状土和重塑土的不排水三轴剪切对照试验,以了解土样的扰动影响。

1 试验简介

试验所用土样取自润杨大桥北锚碇基坑有代表性的粘性土和砂土,仪器为应变控制式三轴剪切仪,试验标准为中华人民共和国国家标准《土工试验方法标准》<sup>[2]</sup>。粘性土和砂土的取土器分别为自由活塞薄壁取土器和内环刀取砂器,其技术参数分别见表 1 和表 2。对小直径取土器所取土样,即 TZ75A 取土器所取土样,因原状土样不足,按一个试样多级加荷进行试验,其余均按土工试验方法标准,三个试样一组进行试验。同一组试验的三个土样,为取土器中同一段土样利用原状土分样器三分所得。

表 1 自由活塞薄壁取土器技术参数

型号	取样直径/mm	面积比/%	内间隙比/%	废土管长度/mm	取样长度/mm	刃角/°
TZ75A	75	8.2/9.2	0/0.5	250	500	7
TZ100A	100					

表 2 内环刀取砂器技术参数

型号	取砂器			无刃环刀		
	外径/mm	长度/mm	面积/cm <sup>2</sup>	内径/mm	外径/mm	高度/mm
THD50	95	640	50	79.8	83	20

由于取土时应力释放,试样的初始应力状态与天然土层的原始应力状态不同,故要正确测试土的天然强度,就应使三轴试验的初始应力状态符合天然土层的原位应力条件。为了恢复土样的原始应力状态,本次试验采用了两种不同的土样预处理方法,等向固结预处理法和  $K_0$  固结预处理法,与未经预处理土样进行对比试验,以研究等向预固结和  $K_0$  预固结对

土的不排水强度指标的影响,并比较两种不同预处理方法的效果。其中等向预固结压力  $\sigma_3$  见下式:

$$\sigma_3 = \frac{\gamma h(1+2K_0)}{3} \quad (1)$$

式中:  $h$ ——土样的埋藏深度, m;

$K_0$ ——静止侧压力系数,由静止侧压力系数  $K_0$  试验确定;

$\gamma$ ——土的有效重度, kN/m<sup>3</sup>。

而  $K_0$  预固结条件为竖向预固结压力为  $\gamma h$ ,侧向预固结压力为  $K_0 \gamma h$ 。在固结阶段,  $K_0$  固结法采用分级固结,固结时间根据土样固结快慢和固结排水速率确定。在固结结束后,则进行常规不排水剪切。与等向固结预处理法一样,除预固结条件不同外,  $K_0$  固结不排水剪切试验方法与不固结不排水剪切试验方法相同。

2 取土器直径大小对取样的扰动分析

取样是室内试验必不可少的一道工序。为了研究取土器直径对粘性土天然强度指标的影响,本次试验采用了直径不同的两种取土器, TZ100A 和 TZ75A,并对两种取土器所取土样进行了对比试验。

表 3 为粘性土 TZ100A 土样、TZ75A 土样与重塑土样的不排水三轴试验强度指标对比。从表 3 中可以看出, TZ75A 土样的强度指标值与重塑土样的对应值较接近,而明显小于 TZ100A 土样的对应值。这说明,小直径取土器对土样的扰动是很大的,而当取土器直径增大时,可有效减小对土样的扰动,故能更真实反映土的天然强度。另外,大直径取土器,在取土时有利于排除周边土的扰动;同时,在试验时,因一组试验的三个土样来自取土器中同一段土,故能减少因土的不均匀性对试验造成的影响;并因试样较多,也能满足更多试验项目的要求。故在较重要的工程中,建议使用大直径的薄壁取土器来取样,以减少取样扰动造成的影响,尽可能真实的反映土的天然强度。

表3 粘性土强度指标对比表

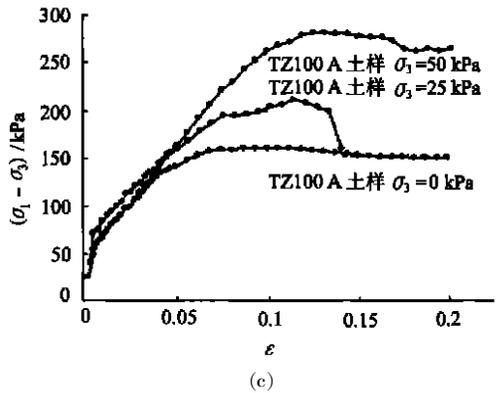
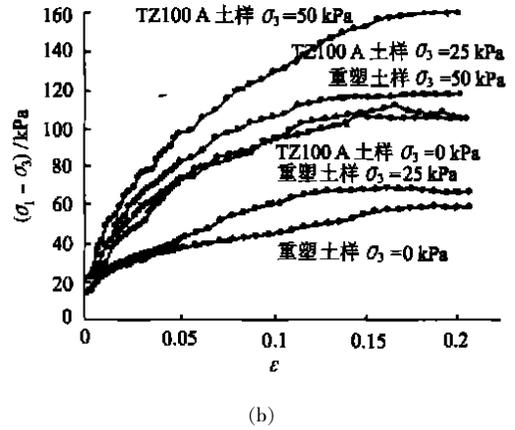
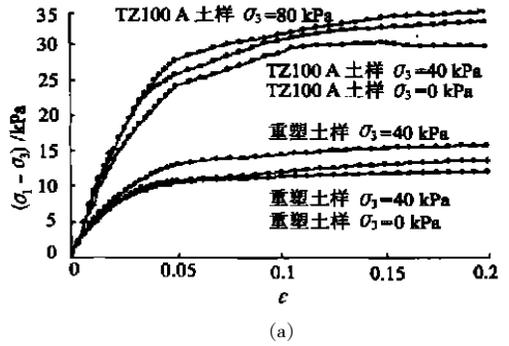
试验项目	试样类型	抗剪强度参数	
		$c/kPa$	$\varphi/(^\circ)$
UU	重塑土样	6.4	0.9
	TZ75A 土样	8.7	1.0
	TZ100A 土样	14.4	1.0
$\sigma_{3UU}$	重塑土样	22.6	18.5
	TZ75A 土样	30.8	15.8
	TZ100A 土样	43.0	15.0

### 3 预处理对土天然强度指标的影响

三轴剪切试验的主要目的,是为了获得天然土层的力学指标。但由于取样时的应力释放及取样扰动等影响,土样的应力状态已经改变,故常规三轴试验所测土的强度指标可能低于天然土层的实际值。为了研究取样扰动对天然强度指标的影响,本次试验,我们进行了预处理土样与未预处理土样的对比试验。

图 1(a)、(b)、(c)分别是粘性土的不固结不排水、等向固结不排水和  $K_0$  固结不排水三轴剪切试验所得的应力—应变关系曲线。从图 1 中可以看出,在同一剪切围压下,重塑土样破坏主应力差( $\sigma_1 - \sigma_3$ )均要小于 TZ100A 土样的相应值;同时,重塑土样的初始切线模量也小于 TZ100A 土样的对应值。这说明,粘性土是有一定的结构性的,当其结构性遭到破坏时,其强度指标会明显降低。对比图 1(a)、(b),可看出:对原状土与重塑土, UU 试验,两者强度指标相差最大,而  $\sigma_{3UU}$  试验,两者差值减小。这说明:土样扰动对 UU 试验的影响最大,而预固结处理能有效恢复土样原始应力状态,故  $\sigma_{3UU}$  试验两者强度指标差值减小。

表 4 为不同预处理方法的粘性土 TZ100A 土样与重塑土样强度指标对比。从表 4 中可看出,经预处理的土样,其强度指标比未经预处理土样有较大提高。可见预处理可有效恢复土样原始应力状态。对比两种不同的预处理方法的土样,  $K_0$  固结预处理土样的强度指标高于等向固结预处理土样的对应值。这是因为等向固结预处理将土的原位应力均匀化了,而  $K_0$  固结更符合天然土层的实际应力条件<sup>[3]</sup>,因而,等向



(a) 不固结不排水三轴剪切试验  
 (b) 等向固结三轴不排水剪切试验  
 (c)  $K_0$  固结三轴不排水剪切试验

图 1 粘性土三轴不排水剪切试验应力—应变关系图

固结预处理土样的强度指标较  $K_0$  固结预处理土样的强度指标低。这也说明,粘性土在天然应力状态下,其强度指标最大,而 UU 试验测定的强度指标值,因试验初始状态与天然土层原始应力条件不同,其强度指标远低于天然土层中的实际值。

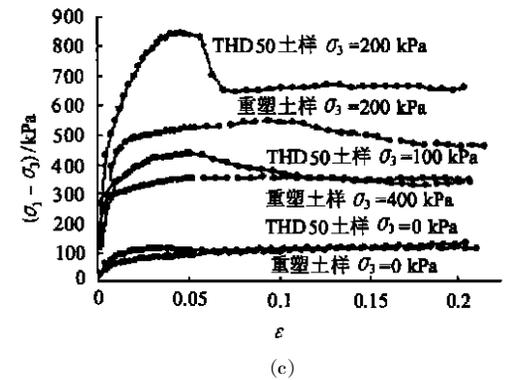
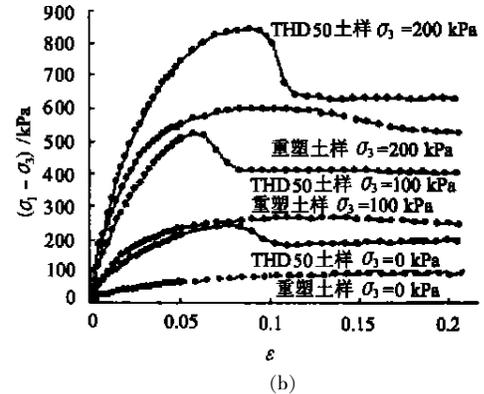
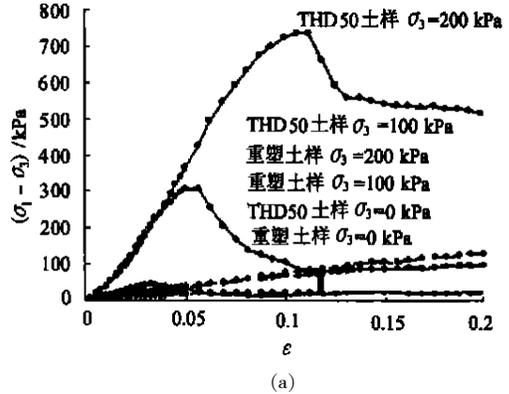
表 4 粘性土原状土样与重塑土样强度指标对比

试验项目	试样类型	抗剪强度参数	
		$c/\text{kPa}$	$\varphi/(\circ)$
UU	重塑土样	6.4	0.9
	TZ100A 土样	14.4	1.0
$\sigma_{3\text{UU}}$	重塑土样	22.6	18.5
	TZ100A 土样	43.0	15.0
$K_{0\text{UU}}$	TZ100A 土样	54.0	20.0

中华人民共和国国家标准(GB 50021-94)《岩土工程勘察规范》第 10.4.1 条规定:对饱和和粘性土,当加荷速率较快时宜采用不固结不排水(UU)试验<sup>[4]</sup>。为确定饱和和软粘土的地基承载力,应对试样在自重压力下进行预固结再进行试验。从表 4 可看出,常规不固结不排水试验强度指标,可能大大低于天然土层的实际值,如采用此强度指标,在实际工程中,会造成大量不必要的浪费。而  $K_0$  固结条件较符合天然土层的实际条件,且从表 4 结果可看出,经  $K_0$  固结预处理的土样其强度指标较高,故建议在确定饱和和软粘土的地基承载力时按  $K_0$  固结预处理法进行预固结再进行试验。

图 2(a)、(b)、(c)分别是砂性土的不固结不排水、等向固结不排水和  $K_0$  固结不排水三轴剪切试验所得的应力-应变关系曲线。从图 2 中可以看出,无论 THD50 土样还是重塑土样,破坏主应力差( $\sigma_1 - \sigma_3$ )都随围压增大而增大。同粘性土一样,在同一剪切围压下,重塑土样的破坏主应力差( $\sigma_1 - \sigma_3$ )要小于 THD50 土样的相应值;且土样初始切线模量也是重塑土样小。但对于 THD50 土样,随着剪切围压增大,破坏应变也随之增大;而重塑土样则无此规律。另外,THD50 土样主应力差都有峰值,且在试样破坏后,主应力差趋向一稳定值,即残余强度值;而重塑土样则无明显峰值。这是因为土样重塑完全破坏了土的结构性,而原状土样则较好的保留了土的天然结构性。这说明,砂土也有结构性。故为准确测试砂土的天然强度指标,应尽可能利用原状土样,而避免使用重塑土样。表 5 为不同预处理方法的砂性土原状土样与重塑土样强度指标

对比。从表 5 中可看出,对于 UU 试验,两者强度指标相差最大,而  $\sigma_{3\text{UU}}$  和  $K_{0\text{UU}}$  试验,两者差值减小。这说明,砂性土与粘性土一样,土样扰动对 UU 试验的影响最大,而预固结处理有助于恢复土样的原始应力状态,故其强度指标差异减小。



(a) 不固结不排水三轴剪切试验  
(b) 等向固结三轴不排水剪切试验  
(c)  $K_0$  固结三轴不排水剪切试验

图 2 砂性土三轴不排水剪切试验应力-应变关系图

对于砂土,  $K_0$  固结预处理土样和等向固结预处理土样的强度指标相差不大, 且  $K_0$  固结预处理土样的强度指标还偏小, 但  $K_0$  固结预处理土样的初始切线模量明显大于等向固结预处理土样的对应值。

表5 砂性土原状土样与重塑土样强度指标对比

试验项目	试样类型	抗剪强度参数	
		$c/\text{kPa}$	$\varphi/(\circ)$
UU	重塑土样	4.4	12.9
	THD50 土样	34.8	34.0
$\sigma_{3UU}$	重塑土样	55.8	27.8
	THD50 土样	60.0	36.9
$K_{0UU}$	重塑土样	35.0	30.6
	THD50 土样	28.0	39.5

从图1和图2, 无论是粘性土, 还是砂土, 尽管经过预处理, 重塑土样的破坏强度值总是小于原状土样对应值。这说明, 粘性土和砂土, 都具有一定的结构性, 其土样受扰动后, 即使经过预处理, 其结构性也是不可能完全恢复的。故在取样及试验时, 都应尽可能的避免使土样受到扰动, 在试验时, 也要尽可能避免使用重塑土样。

#### 4 结论与建议

本文对润样大桥北锚碇粘性土和砂性土分别进行了等向固结和  $K_0$  固结条件下的不排水三轴剪切试验, 并与不固结不排水三轴剪切试验结果对比, 还对直径不同取土器所取土样进行了对比试验, 试验结果及分析表明:

1) 预处理可有效恢复土样的原始应力状态, 减小扰动对土样室内试验强度指标的影响, 从而可以提高土样的强度指标和初始切线模量, 更真实的反映土的天然强度。

2) 常规不固结不排水三轴试验的强度指标低于天然土层的实际值。故建议在确定饱和软粘土的地基承载力时, 利用经过  $K_0$  固结预处理试样的强度指标。

3) 对于粘土, 两种预处理方法的效果有差异,  $K_0$  固结预处理法要优于等向固结预处理法; 而对于砂土, 两种方法差异不大。

4) 取土器直径对土样扰动程度有直接影响, 大口径取土器可有效减小取样扰动程度。

5) 无论粘性土, 还是砂土, 都有一定的结构性, 而预处理并不能完全恢复试样的原始应力状态。故在利用三轴试验确定土的强度指标时, 在试验中尽可能使用原状土样, 避免使用重塑土样, 并应尽可能利用对土样扰动相对较小的大口径取土器。

因此, 要正确测试土的天然强度, 不仅要使三轴试验的应力状态尽量符合天然土层的实际应力条件, 即应对土样进行预处理, 同时, 还应采用对土样扰动较小的取样方法, 即尽可能采用大口径薄壁取土器。

#### 参 考 文 献

- 1 沈珠江. 软土工程特性和软土地基设计. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 104
- 2 中华人民共和国水利电力部. 土工试验方法标准. 北京: 中国计划出版社, 1991
- 3 袁聚云, 赵锡宏, 杨熙章等.  $K_0$  固结条件对上海软土强度和变形影响的试验研究. 勘察科学技术, 1995(6): 24
- 4 中华人民共和国国家标准. GB 50021-94 岩土工程勘察规范. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995

收稿日期: 2002-03-18