

K_0 固结条件对上海粘性土强度和变形的影响

袁聚云 王新波 董建国 杨熙章

(同济大学 200092 上海)

摘 要 通过对上海第②层~第⑤层粘性土进行 K_0 固结三轴不排水剪切试验,探讨 K_0 固结初始应力对上海粘性土强度和变形性能的影响规律,并与各向等压初始应力的三轴固结不排水剪切试验的情况进行比较和分析。试验结果表明, K_0 固结初始应力对上海粘性土的强度和变形性能有影响;正确测试土的天然强度及变形规律,应使三轴试验的固结应力状态符合天然土层的初始应力条件,即 K_0 固结状态。

关键词 K_0 固结 上海粘性土 强度 变形

分类号 TU 43 TU 41

0 前言

天然土层中的初始应力状态一般处于各向不等的应力状态,即静止土压力系数 K_0 不等于 1,初始应力的各向异性,促使土体在破坏时所需的剪应力增量也不同。而其强度和变形也就有差异。而一般的常规三轴试验是在各向等压条件下固结后再进行剪切的,此显然与天然土层 K_0 固结的实际初始应力状态不相符合。

在上海,粘性土的分布范围是很广泛的,典型的上海土层,从第②~第⑤层大多为粘性土,因此,长期以来对上海粘性土工程性质及其应用的研究,一直为工程技术界所重视,并为此作了不懈的努力^[1~3];可是,这些研究大多是在各向等压固结条件下进行的,较少涉及到土体实际初始应力的 K_0 固

结条件。 K_0 固结三轴剪切试验主要分 2 个阶段:第 1 阶段为试样在无侧向变形的条件下进行 K_0 固结;第 2 阶段则对试样进行剪切,直至破坏。笔者主要通过上海第②~第⑤层粘性土进行 K_0 固结三轴不排水剪切试验,对第③层和第④层粘性土进行 K_0 固结真三轴不排水剪切试验,从而探讨 K_0 固结初始应力对上海粘性土强度和变形性能的影响规律,同时与各向等压初始应力的三轴固结不排水剪切试验的情况进行比较和分析。

1 试验方法

试验所用的土样取自上海地区有代表性的第②~第⑤层粘性土,试验土样的基本物理力学性质如表 1 所示。

表 1 试验土样的基本物理力学指标

土层序号	土层名称	含水量 $w / (\%)$	重度 $V / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	比重 G	孔隙比 e	饱和度 $S_r / (\%)$	塑性指数 I_p	液性指数 I_L
②	褐黄色粉质粘土	30.9	19.2	2.73	0.861	97.9	16.1	0.83
③	淤泥质粉质粘土	40.1	18.0	2.73	1.084	98.8	14.9	1.16
④	淤泥质粘土	50.8	17.2	2.75	1.321	99.0	20.2	1.31
⑤	粘土	36.1	18.4	2.74	1.045	96.8	19.5	0.91

对于 K_0 固结三轴不排水剪切试验,是在经改装的应力应变控制式三轴仪上进行的^[4],其试样直径为 3.91 cm,高为 8 cm,采用与试样面积相同的轴向加载活塞,并在密闭的压力室内注满无气泡的蒸馏水,以保证在 K_0 固结阶段控制试样侧面平均不变形;对于 K_0 固结真三轴不排水剪切试验,则是在自制的 K_0 固结真三轴仪上进行的^[5],试样尺寸为 7

cm×7 cm×7 cm 的立方体,并且在 K_0 固结阶段利用特制的侧限板以保证试样侧面不变形。试验在 K_0 固结阶段采用轴向恒应力控制,而在剪切阶段则采用等应变速率控制。

2 上海粘性土 K_0 系数的测定

在无侧向变形的条件下,作用在土体中的水平向有效应力 e_3' 与竖直向有效应力 e_1' 的比值称为土的静止土压力系数 K_0 ,即

$$K_0 = \frac{e_3'}{e_1'} \tag{1}$$

在 K_0 固结三轴不排水剪切试验的 K_0 固结阶段可以测定土的静止土压力系数 K_0 ,对试样在无侧向变形的条件下,分级进行竖向恒应力加载,记录每级竖向应力作用下试样固结稳定结束时的轴向应力 e_1' 和侧向应力 e_3' ,即可整理出试样所对应的 K_0 系数,上海地区第②层~第⑤层粘性土的 K_0 系数如表 2 所示

表 2 土的静止土压力系数 K_0 值¹⁾

土层 编号	土样名称	试样编号					K_0 平均值
		1	2	3	4	5	
第②层	褐黄色粉质粘土	0.448	0.461	0.469	0.482	-	0.465
第③层	淤泥质粉质粘土	0.482	0.507	0.493	0.518	0.487	0.497
第④层	淤泥质粘土	0.609	0.578	0.591	0.622	0.579	0.596
第⑤层	粘土	0.522	0.543	0.558	0.567	-	0.548

1) 试样 1,2,3,4,用 K_0 固结三轴仪,试样 5 用 K_0 固结真三轴仪试验

3 K_0 固结条件对处于轴对称应力状态下粘性土强度和变形的影响

目前通常所采用的三轴剪切试验,其侧向应力都是相等的,即 $e_2 = e_3$,虽然该种试验方法只能反映土体在轴对称应力状态下的强度和变形规律,但仍为目前测定土体性能的一种较为完善的试验方法对于 K_0 固结三轴不排水剪切试验和各向等压固结三轴不排水剪切试验所得到的应力-应变关系曲线^[4]。图 1~图 4 所示的是 K_0 固结三轴不排水剪切试验与各向等压固结三轴不排水剪切试验所得的破坏时主应力差 $(e_1 - e_3)_f$ 的比较,从图中可以看出, K_0 固结三轴试验所得的试样破坏时主应力差 $(e_1 - e_3)_f$ 要大于各向等压固结三轴试验所得的相应值,随着侧向固结应力 e_3 的增加, K_0 固结条件对 $(e_1 - e_3)_f$ 的影响有增大的趋势。图 5~图 8 所示的是试样初始切线模量 E_i 的比较,从图中可以看出, K_0 固结

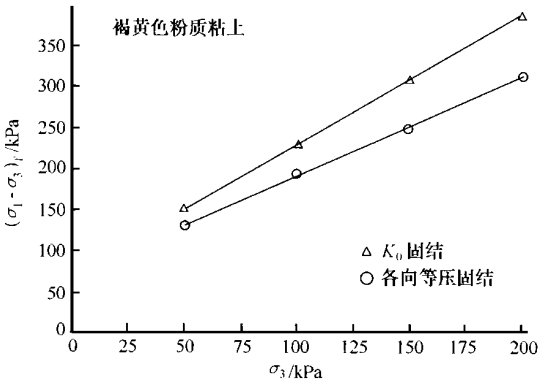


图1 K_0 固结与各向等压固结三轴不排水剪的破坏时主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 比较

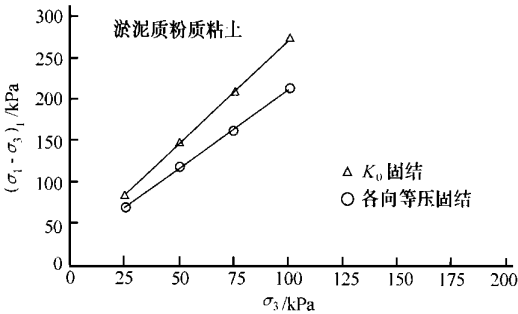


图2 K_0 固结与各向等压固结三轴不排水剪的破坏时主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 比较

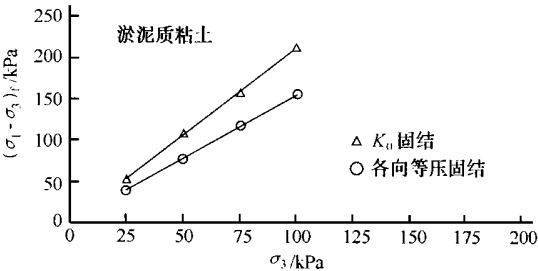


图3 K_0 固结与各向等压固结三轴不排水剪的破坏时主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 比较

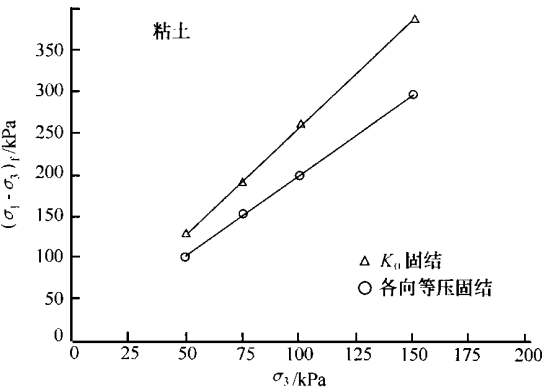


图4 K_0 固结与各向等压固结三轴不排水剪的破坏时主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 比较

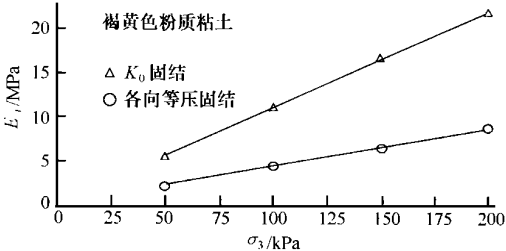


图5 K_0 固结与各向等压固结三轴不排水剪的初始切线模量 E_i 比较

三轴试验所得的试样初始切线模量 E_i 要比各向等压固结三轴试验所得的相应值为大,随着侧向固结应力 e_3 的增加, K_0 固结条件对 E_i 的影响同样也有增大的趋势。由此可见,在进行三轴试验时,应该考虑 K_0 初始固结应力状态对试验结果的影响。由于 K_0 固结三轴试验中的初始应力状态符合天然土层

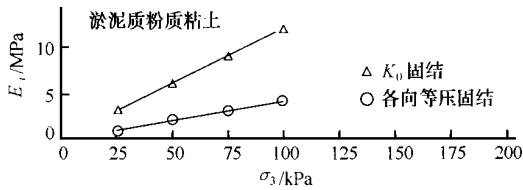


图6 K_0 固结与各向等压固结三轴不排水剪的初始切线模量 E_t 比较

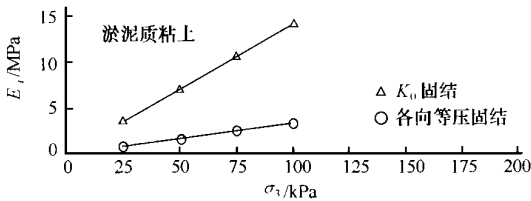


图7 K_0 固结与各向等压固结三轴不排水剪的初始切线模量 E_t 比较

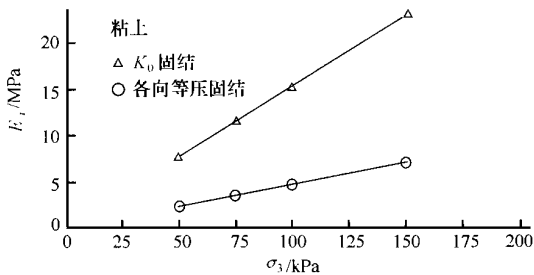


图8 K_0 固结与各向等压固结三轴不排水剪的初始切线模量 E_t 比较

相应值,但 K_0 固结条件对 $(e_1 - e_3)_f$ 的影响基本与中主应力比率 b 的变化无关。图 11 和图 12 所示的是初始切线模量 E_t 的比较,从图中可以看出, K_0 固

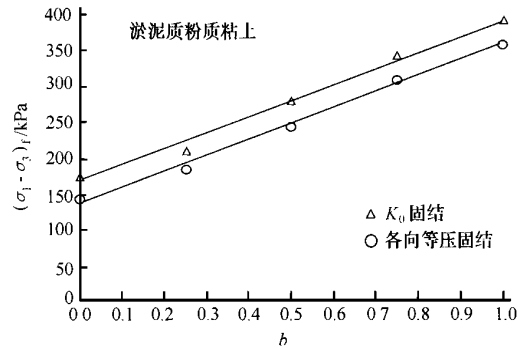


图9 K_0 固结与各向等压固结真三轴不排水剪的破坏时大主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 比较

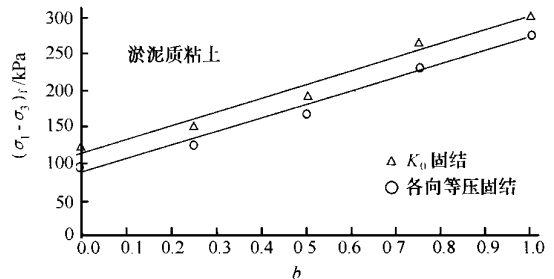


图10 K_0 固结与各向等压固结真三轴不排水剪的破坏时大主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 比较

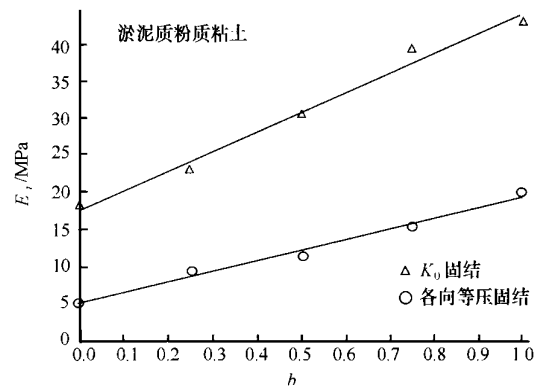


图11 K_0 固结与各向等压固结真三轴不排水剪的初始切线模量 E_t 比较

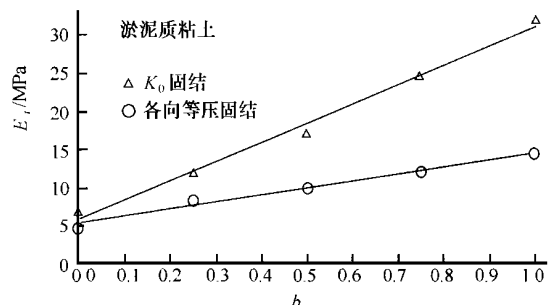


图12 K_0 固结与各向等压固结真三轴不排水剪的初始切线模量 E_t 比较

的实际应力条件,因而,由各向等压固结三轴试验所测定的强度和变形模量值可能低于天然土层中的实际值,此与文献^[6]所报道的试验结果是一致的。

4 K_0 固结条件对处于三向应力状态下粘性土强度和变形的影响

真三轴仪是一种能够在土样面上按一定的方式独立地施加三向不等主应力的仪器,并且能够量测相应三个主应力方向上的主应变,因此能够模拟土体在真实情况下的三向受力条件及其强度和变形规律^[5]。对上海第③层和第④层淤泥质粘性土进行 K_0 固结真三轴不排水剪切试验,在 K_0 固结结束后,取不同的中主应力比率 $b = \frac{e_2 - e_3}{e_1 - e_3}$ 对试样进行剪切。对于某个试验,中主应力比率 b 在整个剪切过程中是保持不变的,中主应力 e_2 则是根据一定的中主应力比率 b 以及试样在剪切时所产生的竖向偏应力 $(e_1 - e_3)$ 等比例施加的。

图 9 和图 10 所示的是 K_0 固结真三轴不排水剪切试验与各向等压固结真三轴不排水剪切试验所得的破坏时大主应力差 $(e_1 - e_3)_f$ 的比较,从图中可以看出, K_0 固结真三轴试验所得的破坏时大主应力差 $(e_1 - e_3)_f$ 要大于各向等压固结真三轴试验所得的

结真三轴试验所得的初始切线模量 E_t 要比各向等压固结真三轴试验所得的相应值为大,并且, K_0 固结条件对 E_t 的影响随着中主应力比率 b 的增加而明显增大。由此可见,土体中的 K_0 初始固结应力状态,对于处在三向应力状态下的土体强度和变形同样是有影响的。

天然地基中的土体处于初始应力状态时,其竖向应力与水平向应力是不相等的,即土的静止侧压力系数 K_0 值不等于 1,因此,要正确测试土的天然强度以及研究土体强度和变形的变化规律,就应在试验过程中使试样的初始应力状态符合天然土层的应力条件,即 K_0 固结状态,如此才能使试验结果真正反映出实际土体的性状及其变化规律

5 结论

通过对上海第②层~第⑤层粘性土进行 K_0 固结三轴不排水剪切试验,以及对上海第③层和第④层淤泥质粘性土进行 K_0 固结真三轴不排水剪切试验,以进行 K_0 固结初始应力状态对上海粘性土强度和变形性能影响的探讨和研究,试验结果及分析表明如下几点。

5.1 K_0 固结条件对处于轴对称应力状态下的上海粘性土强度和变形是有影响的, K_0 固结三轴不排水剪切试验所得到的土体破坏时主应力差和初始切线模量值均比各向等压固结三轴不排水剪切试验所得的相应值为大。

5.2 K_0 固结条件对上海粘性土强度和变形的影响

随着侧向固结应力 σ_3 的增加而有增大的趋势。

5.3 K_0 固结条件对处于三向应力状态下的上海粘性土强度和变形同样是有影响的, K_0 固结真三轴不排水剪切试验所得到的土体破坏时大主应力差和初始切线模量值均比各向等压固结真三轴不排水剪切试验所得的相应值为大。

5.4 K_0 固结条件对上海粘性土破坏时大主应力差的影响基本与中主应力比率 b 的变化无关;而 K_0 固结条件对初始切线模量的影响则随着中主应力比率 b 的增加明显增大。

参 考 文 献

- 1 朱良模,翁显达.上海地区软粘土的物理力学性质指标间相关关系的探讨.见:第一届土力学及基础工程学术会议论文选集.北京:中国建筑工业出版社,1964
- 2 高大钊,魏道堃.上海软土工程性质概率统计特征.见:第四届土力学及基础工程学术会议论文选集.北京:中国建筑工业出版社,1986
- 3 高大钊主编.软土地基理论与实践.北京:中国建筑工业出版社,1992
- 4 王新波.上海正常固结粘性土初始应力状态的试验研究及其应用:[硕士学位论文].上海:同济大学,1997
- 5 袁聚云,杨熙章,赵锡宏,等. K_0 固结真三轴仪的研制及其试验研究.大坝观测与土工测试,1995,19(3): 28~32
- 6 曾国熙,龚晓南,盛进源.正常固结粘土 K_0 剪切试验研究.浙江大学学报,1987,(2)

袁聚云,男,1960年生,博士,副教授,现从事岩土工程的教学和科研工作。

RESEARCH ON THE STRENGTH AND DEFORMATION OF SHANGHAI CLAYEY SOILS UNDER K_0 CONSOLIDATION CONDITION

Yuan Juyun, Wang Xinbo, Dong Jianguo, Yang Xizhang (Tongji University, 200092, Shanghai)

Abstract Based on triaxial undrained shear tests under K_0 consolidation conditions, this paper discusses the influence law of the K_0 consolidation state on the strength and deformation behavior of Shanghai clayey soils. Comparison and analysis are also made of the condition of consolidated isotropically undrained shear test. The test results show that the soil strength and deformation are influenced by K_0 initial stresses.

Keywords K_0 consolidation Shanghai clayey soil strength deformation