

DOI: 10.11779/CJGE201409014

不同固结路径温州黏土固有不排水强度性状试验研究

史 剑¹, 钱 森¹, 曾玲玲², 洪振舜¹

(1. 东南大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210096; 2. 福州大学土木工程学院, 福建 福州 350108)

摘 要: 为研究初始条件和应力状态对重塑黏土固有不排水强度性状的影响, 采用应力路径三轴仪对室内制备的温州黏土进行一系列不同固结路径下的三轴固结不排水剪切试验。通过室内试验研究探讨温州黏土不同固结路径下不同平均有效应力固结后三轴不排水剪切应力应变关系和不排水强度特性; 引入不同平均有效应力 p' 下的孔隙指数 I_v 与不排水强度比 $R_{su}^* = S_u / p'$, 分析不同固结路径下不排水强度 S_u 的变化规律, 并与 Chandler 提出的固有强度线 IS_uL 进行比较分析。结果表明: 相同平均有效应力 p' 下, 不同固结路径下不排水剪切强度 S_u 和不排水强度比 $R_{su}^* = S_u / p'$ 随固结路径的变化而变化; 当不排水强度比 $S_u / p' = 0.33$ 时, 孔隙指数 I_v 与固结不排水强度 S_u 之间的关系与 Chandler 的固有强度线 IS_uL 一致。

关键词: 温州黏土; 固结路径; 孔隙指数; 不排水强度比; 固有排水强度

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)09-1674-06

作者简介: 史 剑(1988-), 男, 博士, 主要从事土的基本特性与本构关系研究。Email: scorpiojian@126.com。

Undrained shear behaviors of reconstituted Wenzhou clay under different consolidation stress paths

SHI Jian¹, QIAN Sen¹, ZENG Ling-ling², HONG Zhen-shun¹

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: To investigate the effects of the initial conditions and stress states on the intrinsic undrained strength behaviors of reconstituted clay, a series of consolidated undrained triaxial compression tests are performed on reconstituted Wenzhou clay under different consolidation conditions. The undrained shear stress-strain relationship and undrained strength are investigated. The void index I_v and the undrained strength ratios $R_{su}^* = S_u / p'$ with different mean effective stresses p' are used to compare the undrained strength S_u under different consolidation conditions with the Chandler intrinsic strength line IS_uL . The results indicate that the undrained shear stress-strain curves change with the consolidation stress paths under the same mean effective stresses p' . The undrained shear strengths and undrained strength ratios $R_{su}^* = S_u / p'$ are also greatly affected by the consolidation stress paths. When $S_u / p' = 0.33$, the relationship between the void index I_v and the undrained strength S_u is identical to the Chandler intrinsic strength line IS_uL .

Key words: Wenzhou clay; consolidation path; void index; undrained strength ratio; intrinsic undrained strength

0 引 言

天然沉积土结构性的强弱会对土的强度特性产生不同程度的影响。重塑土的力学性状经常作为参考基准体系定量评价天然沉积土结构性强弱的影响^[1-7]。Burland^[3]利用归一化参数孔隙指数 I_v 将初始含水率 1.25 倍液限的不同重塑土一维固结压缩曲线归为唯一曲线, 提出了重塑土的固有压缩曲线 ICL。Chandler^[5]在 Burland 的 ICL 基础上, 选取 K_0 固结三轴不排水剪切强度 $S_{K_0u}^*$ 与竖向有效固结压力 σ_v' 的比值 $R_{su}^* = S_{K_0u}^* / \sigma_v'$ 为定值 0.33, 对不同重塑土的 K_0 固结三轴不排水剪切试验强度数据进行归一化, 提出了重塑

土的固有强度线 IS_uL 。Cotecchia 等^[4]、Chandler^[5]以此为基准提出了评价天然沉积土结构性强弱的灵敏度评价体系。

然而 Burland 和 Chandler 等建立重塑土固有力学性质基准体系, 是基于特定的初始含水率为 1.25 倍液限的初始条件以及 K_0 应力状态下固结试验和三轴压缩试验成果得出的。目前已有研究发现初始条件和应力状态对重塑土的固有力学性状有重要的影响, 如不同重塑土的压缩特性和强度特性与其初始含水率及液限

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41372309, 41172240)

收稿日期: 2013-12-20

有关, 不同的初始含水率下重塑土三轴不排水强度与有效固结压力的比值 R_{su}^* 随着初始含水率变化而变化^[8-11]; 室内试验研究中等压固结、 K_0 固结、偏压固结不同的固结 - 剪切试验模式下室内试验得到的重塑土不排水强度与竖向有效固结压力的比值也不同^[12-17]。因此, 不同固结路径下天然沉积结构性土重塑样力学性状的研究可以为完善评价天然沉积土结构性强弱的灵敏度评价体系提供重要的试验依据^[18-20]。本文主要通过应力路径三轴仪对重塑温州黏土进行不同固结路径下的三轴固结不排水剪切试验, 对比分析不同固结路径下重塑温州黏土的应力应变关系和强度性状。

1 试样及试验方案

1.1 试验试样制备

试验用土取自温州娄桥镇, 黏土颜色为青灰色, 将土样充分搅拌均匀后测得土样的物理指标如表 1 所示, 液限 $w_L=63.2\%$, 塑性指数 $I_p=31.7$, 可判断土样为高液限黏性土。

将取回的土样加入一定量的水充分混合搅拌均匀形成初始含水率为 1.53 倍液限的泥浆, 然后采用质量控制法将泥浆注入直径 11.5 cm, 高 18.0 cm 的固结仪之中进行预压固结成型, 以用于三轴固结不排水剪切试验。固结仪的底座上依次放置透水石和滤布, 然后放入环刀, 环刀内壁均匀涂抹一层凡士林, 以尽可能减少侧壁摩擦, 将搅拌好的泥浆缓慢倒入固结仪环刀内, 边倒边振捣均匀排出气泡, 待所需质量的泥浆全部倒入环刀内后, 将表层泥面摊平, 铺上滤布, 盖上透水石和盖板, 固定好支架, 设定好百分表初始读数。

分级施加预固结压力, 加荷等级为 0.5, 2.5, 5, 10, 20, 40 kPa。记录每级压力下土样压缩量随时间的变化情况, 待每级荷载下百分表读数趋于稳定后, 再施加下一级固结压力。固结完成后将土样推出, 利用切样器将制备好的重塑样制成直径 39.1 mm, 高 80.0 mm 的标准三轴试验用样, 用于不同固结路径的三轴固结不排水剪切试验。

表 1 土样基本物理指标

Table 1 Basic physical indices of samples					
初始含 水率/%	液限 /%	塑限 /%	塑性指 数/%	比重	黏粒含量 (粒径<2 μm/%)
96.6	63.2	31.5	31.7	2.72	48.3

1.2 试验方案

为获得不同平均有效应力不同固结路径下重塑温州黏土的不排水剪切应力 - 应变关系和不排水强度性状, 本文制定了如表 2 所示的考虑不同固结路径的三

轴固结不排水剪切试验方案。

试验固结过程中分别控制侧压力系数 $K=\sigma_3'/\sigma_1' =0.6, 0.7, 1.0$ 。具体试验方案如表 2 所示, 其中偏应力 $q=q'=\sigma_1'-\sigma_3'$ 、平均有效应力 $p'=(\sigma_1'+2\sigma_3')/3$, 侧压力系数 $K=\sigma_3'/\sigma_1'$, 固结应力比 $\eta=q'/p'=3(1-K)/(1+2K)$, σ_3' 为土体所受有效围压, σ_1' 为土体所受有效轴压。

表 2 不同应力路径三轴固结不排水剪切试验方案

Table 2 Triaxial consolidated undrained shear tests under different

试验 编号	固结路径		固结压力终值/kPa			
	K	η	p'	q'	σ_3'	σ_1'
1	1	0	50	0	50.0	50.0
2	1	0	100	0	100.0	100.0
3	1	0	200	0	200.0	200.0
4	1	0	360	0	360.0	360.0
5	0.7	0.375	50	18.7	43.8	62.5
6	0.7	0.375	100	37.5	87.5	125.0
7	0.7	0.375	200	75.0	175.0	250.0
8	0.7	0.375	300	112.5	262.5	375.0
9	0.7	0.375	600	225.0	525.0	750.0
10	0.6	0.545	50	27.3	40.9	68.2
11	0.6	0.545	100	54.6	81.8	136.4
12	0.6	0.545	200	109.1	163.6	272.7
13	0.6	0.545	300	163.6	245.5	409.1

1.3 试验方法

试验仪器采用应力路径三轴仪完成, 试验主要分为饱和、固结和剪切 3 个阶段。饱和阶段主要采用反压饱和, 通过施加围压 105 kPa, 反压 100 kPa 使土样饱和, 并检查饱和度, 确定 B 值达 98% 以上则视为土样饱和; 固结阶段利用应力路径三轴仪中高级加载试验模块进行, 在保持侧压力系数 K 不变的情况下同时施加有效围压 σ_3' 和偏应力 q 使试样进行排水固结, 固结过程控制反压为 150 kPa 并保持不变, 控制平均有效应力 p' 的加载速率为 0.01 kPa/min, 保证压缩过程中土体底部产生的孔隙水压力 $\Delta u \leq 1$ kPa, 以控制有效应力沿着所设定的应力固结路径进行, 固结应力由试验方案确定, 达到预定的固结应力则视为固结过程结束。固结完成后保持围压不变进行不排水剪切直至试样破坏, 剪切速率设定为轴向位移速率 0.073 mm/min, 控制在剪切应变达到 15%~20% 结束试验。试验结束后, 将所有压力卸载至零, 排出压力室中的水, 拆下压力室外罩, 取出试样测试剪切后的质量和含水率。

2 试验结果分析

2.1 不同固结路径下的应力 - 应变关系曲线分析

图 1 为试验所得不同平均有效应力不同固结路径下固结后不排水剪切应力 - 应变关系曲线。从图 1 中可以看出试样在剪切开始阶段时, 偏应力 q 迅速上升,

之后相对缓慢,达到峰值强度后开始缓缓下降,最后趋于稳定。不同的围压下强度下降的幅度不同。从图1中可以看出,不同固结路径固结后土体剪切应力-应变关系有着明显的相似性,平均有效应力 p' 较大的应力-应变曲线位于上方,所获得的峰值强度也较大。相同平均有效应力 p' 下,侧压力系数 K 较小应力-应变曲线位于上方,所获得的峰值强度较大。

从图中可以看出 $K=1$ 即各向等压固结后不排水剪切应力-应变关系曲线达到峰值强度时的应变值较 $K=0.7$ 及 $K=0.6$ 时大。 $K=1$ 时达到峰值强度所需应变约在4%以上,而 $K<1$ 时,应变在2%左右就达到了峰值强度,并且强度更大。这一点可以解释为, $K<1$ 的固结路径下,由于固结过程中为保证固结路径的不同,对土样竖向施加了不同大小的偏应力 q ;相同的平均有效应力 p' 下, K 值越小施加的竖向偏应力 q 越大。偏应力的存在导致土样在进入剪切阶段前已经存在一定的竖向变形,从而在开始剪切至达到峰值强度时的应变较之固结过程不存在竖向偏应力和变形的各向等压下的应变值要小。这一试验结果也与曾玲玲等^[21-22]对连云港黏土进行考虑固结路径影响的天然沉积土不排水剪切试验研究获得的结论相符。

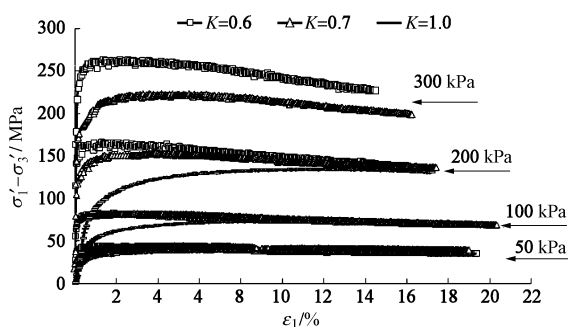


图1 不同应力路径下的应力-应变关系曲线

Fig. 1 Strain-stress curves under different stress paths

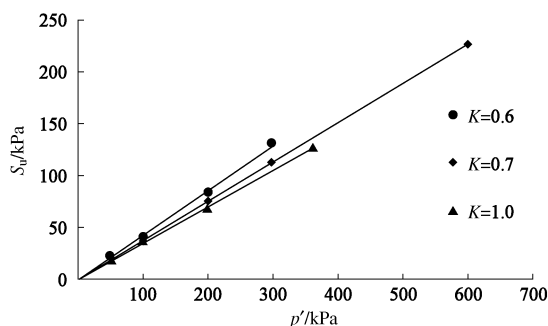


图2 强度与平均有效应力关系曲线

Fig. 2 Relationship between shear strength and mean effective stress

2.2 不同固结路径对不排水强度 S_u 的影响

不同固结路径(不同 K 值)下三轴固结不排水剪

切试验所得到的不排水强度线如图2所示。其中平均有效应力 $p' = (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)/3$;不排水强度 S_u 选取剪切过程破坏时出现峰值的二分之一即 $S_u = (\sigma'_1 - \sigma'_3)_{\max}/2$ 。从图2中可以看出,不同固结路径下重塑温州黏土的不排水强度线都表现出相似的性状,即不排水强度线都是一条经过原点的直线,不排水强度 S_u 均随着平均有效应力 p' 的增大而逐渐线性增大。而不同固结过程不同 K 值对不排水强度有着显著的影响,不排水强度线的斜率随着 K 值的减小而增加。相同的平均有效应力 p' 下 K 值越小,即固结过程中施加的竖向偏应力 q 越大,不排水剪切获得的强度 S_u 也越大。

2.3 与固有强度线 IS_uL 比较分析

Burland^[3]在提出固有压缩曲线ICL理论时,提出了归一化参数孔隙指数 I_v :

$$I_v = (e - e_{100}^*) / (e_{100}^* - e_{1000}^*) = (e - e_{100}^*) / C_c^* \quad (1)$$

式中, e_{100}^* 和 e_{1000}^* 分别为一维常规固结试验中有效竖向应力 σ'_v 为100 kPa和1000 kPa下重塑土的孔隙比, C_c^* 为重塑土的压缩指数。Burland认为固有压缩曲线ICL中的 e_{100}^* 和 C_c^* 为土体的固有属性,仅与土体的液限有关,而与其天然状态无关。

同时Burland根据固有压缩曲线ICL给出孔隙指数的估算公式:

$$I_v = 2.45 - 1.285 \lg \sigma'_v + 0.015 (\lg \sigma'_v)^3 \quad (2)$$

Chandler^[5]引用Burland孔隙指数 I_v 并收集11组已有文献中报道的不同重塑土 K_0 固结三轴不排水剪切试验数据,不同重塑土 K_0 的取值范围在0.5~1.0之间,其固结不排水强度 $S_{K_0u}^*$ 数据均是通过 K_0 应力状态下三轴压缩不排水试验得到的,Chandler发现固结不排水强度 $S_{K_0u}^*$ 与有效固结压力 σ'_v 的比值与塑性指数无关,并取 $R_{su}^* = S_{K_0u}^* / \sigma'_v$ 近似值为0.33,将不同重塑土的 K_0 固结不排水强度很好地归一化到一条曲线附近,由此建立了重塑土的固有强度线 IS_uL 。然而Chandler认为固有排水强度线 IS_uL 并不是固定不变的,不排水强度比 R_{su}^* 不同时可以获得不同的固有强度线。例如,当已知某种特定黏土的不排水强度比,或者正如Jamiolkowski等^[23]认为土体直剪、三轴拉伸试验获得的不排水强度比与塑性指数有关,此时固有排水强度线也会随着发生变化。

Hong等^[9]和倪钧钧^[11]通过不同重塑土的等向固结三轴不排水试验研究,定义不排水强度比为等向固结不排水强度与平均有效应力的比值 $R_{su}^* = S_u / p'$,发现 R_{su}^* 随着重塑土初始含水率变化而变化,初始含水率越高, $R_{su}^* = S_u / p'$ 越小。当等向固结三轴不排水强度比 $R_{su}^* = 0.33$ 时,孔隙指数 I_v 与不排水强度 S_u 的关系曲线则与Chandler根据 K_0 固结三轴压缩试验数据提出的固有强度线 IS_uL 完全重合,认为可以将Chandler固有强度

线从 K_0 固结状态拓展到三维等向固结状态。

Ohta等^[24]和王立忠等^[25]从剑桥模型和临界状态土力学出发,推导 K_0 状态下的不排水剪切强度与平均有效应力存在一定的关系。Callisto等^[26]和Balasubramaniam等^[27]在试验研究中也采用了等向压缩下的平均有效应力对重塑土不同应力比下的三轴试验数据进行归一化分析研究。

利用Burland^[3]提出固有压缩曲线ICL时定义孔隙指数的式(1),计算本次试验中不同固结路径下固结后的孔隙指数 I_v 。不同固结路径下三轴固结不排水剪切试验得到的固结排水体变数据可以直接获得不同固结路径下平均有效应力 p' 为100 kPa时的孔隙比 e_{100}^* ,同时将所得的 $\lg(1+e)$ 与 $\lg p'$ 直线关系进行外延并线性外插可以估算得到不同固结路径下有效竖向应力 p' 为1000 kPa时的孔隙比 e_{1000}^* ,从而根据式(1)可以得到不同固结路径下的孔隙指数 I_v 的实测值。本文利用有效平均固结应力 p' 对不同固结条件下的孔隙指数 I_v 和不排水强度 S_u 进行分析。

直接利用不同固结路径试验所施加的有效平均固结应力 p' 代替式(2)中有效竖向应力 σ'_v 进行计算,可以得到有效平均固结应力 p' 下孔隙指数 I_v 的计算值,将两者进行比较,绘制于图3。同时将由式(1)得到孔隙指数 I_v 的实测值与Burland^[3]固有压缩曲线ICL比较,绘制于图4。从图3,图4可以看出由不同应力路径固结数据实测得到的孔隙指数和由Burland固有压缩曲线ICL式(2)计算得到的孔隙指数基本相同。而实测得到的孔隙指数 I_v 与有效平均固结应力 p' 的关系也基本与Burland^[3]固有压缩曲线ICL相符。而在Chandler^[5]固有强度线上,孔隙指数 I_v 与不排水强度 S_u 一一对应。

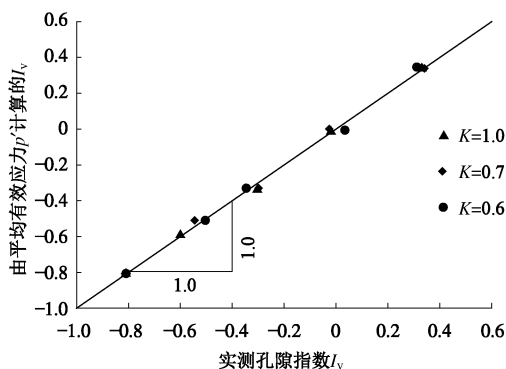


图3 孔隙指数 I_v 的实测值与计算值比较

Fig. 3 Comparison between measured and calculated values of void index I_v

直接利用不同固结路径试验所施加的有效平均固结应力 p' (详见表1)代替Chandler^[5]和Burland^[3]理论中 K_0 状态下的竖向有效固结压力 σ'_v ,代入式(2)得

到孔隙指数 I_v ,并绘制计算得到的孔隙指数 I_v 与不排水强度比 $R_{su}^* = S_u/p'$ 的关系如图5所示,计算得到的孔隙指数 I_v 与固结不排水强度 S_u 的关系如图6所示。为了方便与Chandler^[5]提出的固有强度线 IS_uL 比较,将固有强度线 IS_uL 也画在同一坐标系中如图6所示。从图中可以看出,孔隙指数 I_v 与固结不排水强度 S_u 之间的关系并不唯一,而是随着不同的固结路径不同 K 值而变化。

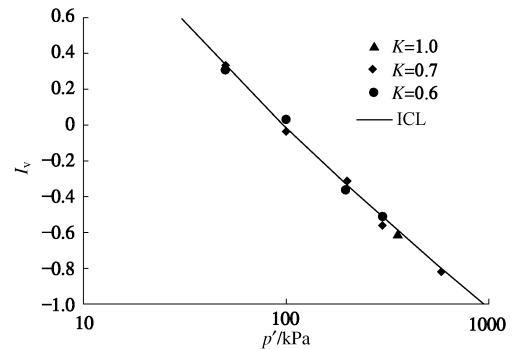


图4 实测孔隙指数 I_v 与平均有效应力 p' 关系

Fig. 4 Relationship between measured void index I_v and mean effective stress

从图5,6可以发现,不同固结路径下得到的 $R_{su}^* = S_u/p'$ 的值在0.3~0.5之间变化,相同孔隙指数 I_v 下 K 值越小不排水强度比 R_{su}^* 越大,这一点也可以从图2不同应力路径下强度 S_u 与平均有效应力 p' 关系曲线看出,相同的平均有效应力 p' 可以得到相同孔隙指数 I_v ,而相同的平均有效应力 p' 下, K 值越小不排水强度越大,不排水强度比 $R_{su}^* = S_u/p'$ 也就越大。 R_{su}^* 较大时对应的图4中孔隙指数 I_v 与不排水强度 S_u 之间的关系曲线位于 R_{su}^* 较小时对应的 I_v 与 S_u 关系曲线的上方,不同 K 值下的不排水强度 S_u 与孔隙指数 I_v 关系基本都与Chandler^[5]的固有强度线 IS_uL 平行。

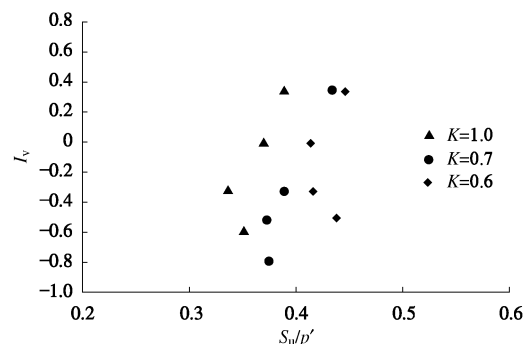


图5 计算所得孔隙指数 I_v 与不排水强度比 S_u/p' 的关系

Fig. 5 Relationship between calculated void index I_v and undrained strength ratio S_u/p'

从图5中可以看出等向固结 $K=1$ 得到的不排水强度比 $R_{su}^* = S_u/p'$ 近似等于0.33;而对应的图6中 $K=1$ 等

向固结对应的孔隙指数 I_v 与不排水强度 S_u 关系曲线与通过 K_0 固结状态得到的固有强度线 IS_uL 近似重合；偏压固结下 $K=0.7$ 得到的不排水强度比 $R_{su}^*=S_u/p'$ 近似于0.38，对应的孔隙指数 I_v 与不排水强度 S_u 关系曲线则要偏离于Chandler^[5]的固有强度线 IS_uL ；而当 $K=0.6$ 得到的不排水强度比 $R_{su}^*=S_u/p'$ 大于0.4，对应的孔隙指数 I_v 与不排水强度 S_u 关系曲线则要偏离Chandler^[5]的固有强度线 IS_uL 的距离更大。

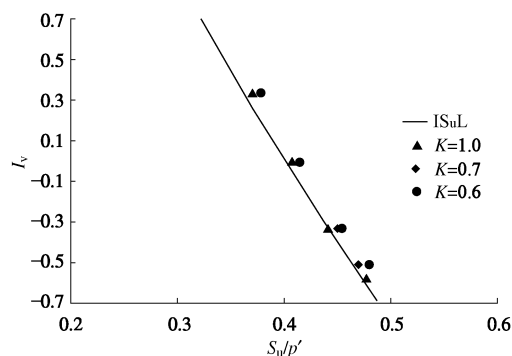


图6 计算所得孔隙指数 I_v 与不同固结路径不排水强度 S_u

Fig. 6 Relationship between calculated void index I_v and undrained strength S_u

3 结 论

针对重塑温州黏土进行了一系列不同固结路径下的三轴固结不排水剪切试验，得到如下主要结论：

(1) 不同的固结路径对固结后剪切过程的应力 - 应变关系影响显著，侧压力系数 K 较小的应力 - 应变曲线位于侧压力系数 K 大的应力 - 应变曲线上方，而 K 较小固结后剪切过程达到峰值强度时的应变值较小。

(2) 相同平均有效应力 p' 下，侧压力系数 K 越小所获得的不排水强度越大；不同固结路径下得到不排水强度比 $R_{su}^*=S_u/p'$ 并不是一个定值，侧压力系数 K 越小， R_{su}^* 越大。

(3) 当不排水强度比 $S_u/p' \approx 0.33$ ，得到的孔隙指数 I_v 与固结不排水强度 S_u 之间的关系线与Chandler的固有强度线 IS_uL 基本一致，当 $S_u/p' > 0.33$ 时，则位于固有强度线 IS_uL 的上方。

参考文献：

[1] 曹宇春, 杨建辉. 基于有效固结应力法确定结构性黏性土不排水抗剪强度[J]. 岩土力学, 2013, **34**(11): 3085 - 3090. (CAO Yu-chun, YANG Jian-hui. Undrained shear strength determination of structured clays based on effective consolidation stress method [J]. Rock and Soil Mechanics,

2013, **34**(11): 3085 - 3090. (in Chinese))

[2] LEROUEIL S, VAUGHAN P R. The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks[J]. Géotechnique, 1990, **40**(3): 467 - 488.

[3] BURLAND J B. On the compressibility and shear strength of natural clays[J]. Géotechnique, 1990, **40**(3): 329 - 378.

[4] COTECCHIA F, CHANDLER R J. A general framework for the mechanical behaviour of clays[J]. Géotechnique, 2000, **50**(4): 431 - 447.

[5] CHANDLER R J. Clay sediments in depositional basin: the geotechnical cycle[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2000, **33**(1): 7 - 39.

[6] HONG Z S, LIU S Y, SHEN S L, Negami T. Comparison in undrained shear strength between undisturbed and remolded Ariake clays[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2006, **132**(2): 272 - 275.

[7] HONG Z S, ZENG L L, CUI Y J, et al. Compression behavior of natural and reconstituted clays[J]. Géotechnique, 2012, **62**(4): 291 - 301.

[8] HONG Z S, YIN J, CUI Y J. Compression behaviour of reconstituted soils at high initial water contents[J]. Géotechnique, 2010, **60**(9): 691 - 700.

[9] HONG Z S, BIAN X, CUI Y J, GAO Y F, ZENG L L. Effect of initial water content on undrained shear behavior of reconstituted clays[J]. Géotechnique, 2013, **63**(6): 441 - 450.

[10] CARRIER W D, BECKMAN J F. Correlations between index tests and the properties of remoulded clays[J]. Géotechnique, 1984, **34**(2): 211 - 228.

[11] 倪钧钧. 初始含水率对固有强度线影响规律的试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2013. (NI Jun-jun. Experimental study on the effect of initial water content on intrinsic strength line[D]. Nanjing: Hohai University, 2013. (in Chinese))

[12] MESRI G, ALI S. Undrained shear strength of a glacial clay over consolidated by desiccation[J]. Géotechnique, 1999, **49**(2): 181 - 198.

[13] YOICHI W, TAKASHI T, KAKUICHIRO A. Undrained shear strength of pleistocene clay in osaka bay[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2002, **128**(3): 216 - 226.

[14] MAYNE P W. Stress anisotropy effects on clay strength[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1985, **111**(3): 355 - 366.

[15] MESRI G. Discussion on "New design procedure for stability

- of soft clays"[J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1975, **101**(4): 409 - 412.
- [16] MESRI G. A reevaluation of $S_{u(mob)}=0.22\sigma'_p$ using laboratory shear tests[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1989, **26**(1): 162 - 164.
- [17] NAKASE A, KAMEI T. Undrained shear strength anisotropy [J]. Soils and Foundations, 1983, **23**(1): 91 - 101.
- [18] ALLMAN M A, ATKINSON J H. Mechanical properties of reconstituted Bothkennar soil[J]. Géotechnique, 1992, **42**(2): 289 - 301.
- [19] CALLISTO L, RAMPELLO S. An interpretation of structural degradation for three natural clays[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2004, **41**(3): 392 - 407.
- [20] 王立忠, 沈恺伦. K_0 固结结构性软黏土的本构模型[J]. 岩土工程学报, 2007, **29**(4): 496 - 504. (WANG Li-zhong, SHEN Kai-lun. A constitutive model of K_0 consolidated structured soft clays[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, **29**(4): 496 - 504. (in Chinese))
- [21] 曾玲玲, 洪振舜, 刘松玉. 考虑固结路径影响的天然沉积土不排水剪切试验研究[J]. 东南大学学报, 2012, **42**(4): 744 - 748. (ZENG Ling-ling, HONG Zhen-shun, LIU Song-yu. Experimental study on undrained shear behavior of natural clays under various consolidation stress paths [J]. Journal of Southeast University, 2012, **42**(4): 744 - 748. (in Chinese))
- [22] 曾玲玲, 洪振舜, 刘松玉, 等. 应力路径对天然沉积土压缩特性影响的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2012, **34**(7): 1250 - 1255. (ZENG Ling-ling, HONG Zhen-shun, LIU Song-yu, et al. Experimental study on different compression behavior of natural clays caused by various stress paths [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, **34**(7): 1250 - 1255. (in Chinese))
- [23] JAMIOLKOWSKI M, LADD C C, GERMAINE J T, LANCELLOTTA R. New developments in field and laboratory testing of soils[C]// Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Francisco, 1985: 57 - 153.
- [24] OHTA H, NISHIHARA A. Anisotropy of undrained shear strength of clays under axi-symmetric loading conditions[J]. Soils and Foundations, 1985, **25**(2): 78 - 86.
- [25] 姜洪伟, 赵锡宏. K_0 固结粘土各向异性不排水剪强度研究[J]. 岩土力学, 1997, **18**(2): 1 - 7. ((JIANG Hong-wei, ZHAO Xi-hong. Study on anisotropic undrained shear strength of K_0 -consolidated clays[J]. Rock and Soil Mechanics, 1997, **18**(2): 1 - 7. (in Chinese))
- [26] CALLISTO L, CALABRESI G. Mechanical behavior of a natural soft clay[J]. Géotechnique, 1998, **48**(4): 495 - 513.
- [27] BALASUBRAMANIAM A S, HANDALI S, WOOD D M. Pore pressure: stress ratio relationship for soft bangkok clay[J]. Soils and Foundations, 1992, **32**(1): 117 - 131.

《岩土工程学报》征订启事

《岩土工程学报》创办于 1979 年, 是我国水利、土木、力学、建筑、水电、振动等六个全国性学会联合主办的学术性科技期刊。由南京水利科学研究院承办, 国内外公开发行。主要刊登土力学、岩石力学领域中能代表当今先进理论和实践水平的科学研究和工程实践成果等。报道新理论、新技术、新仪器、新材料的研究和应用。欢迎国家自然科学基金项目及其他重要项目的研究成果向本刊投稿, 倡导和鼓励有实践经验的作者撰稿, 并优先刊用这些稿件。主要栏目有黄文熙讲座、综述、论文、短文、工程实录、焦点论坛、讨论和简讯等。

本刊被《中文核心期刊要目总览》连续多年确认为核心期刊, 并在建筑类核心期刊中位于前列; 本刊被科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)及“中国科技论文与引文数据库”收录; 本刊被中国科学院“中国科学引文数据库”收录; 本刊被“中国知网”全文收录及“中国学术期刊综合评价数据库”收录; 本刊被“工程索引 Ei Compendex 数据

库”和“日本科学技术振兴机构数据库 JST”等国际数据库收录。本刊网址 (www.cgejournal.com) 全文发布本刊所有刊载文章。

本刊读者对象为土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金、工程地质等领域中从事岩土工程及相关专业的科研人员、设计人员、施工人员、监理人员和大专院校师生。

本刊为月刊, A4 开, 双栏排版, 192 页, 每月中旬出版, 每期定价 25 元, 全年 300 元。

本刊国际标准刊号 ISSN 1000 - 4548, 国内统一刊号 CN 32 - 1124/TU, 国内发行代号 28 - 62, 国外发行代号 MO 0520。欢迎广大读者在全国各地邮局订购, 也可在编辑部订购(不另收邮费)。编辑部订购地址: 南京虎踞关 34 号《岩土工程学报》编辑部; 邮编: 210024; 联系电话: 025-85829534, 85829543, 85829553, 85829556; 传真: 025-85829555; E-mail: ge@nhri.cn。

(本刊编辑部)