

福州地区结构性软土次固结试验研究

王娟¹ 罗开珍²

(1. 江西应用技术职业学院,江西赣州 341000; 2. 江西省赣南公路勘察设计院,江西赣州 341000)

【摘要】 为研究福州地区浅层软土的结构性特征,特进行了一组原状土和相应的重塑土的一维固结试验。通过原状土和预压后软土的一维次固结试验,探讨了软土的次固结特性。试验结果表明,原状土和重塑土的固结曲线明显不同,说明福州地区浅层软土具有结构性;原状土主次固结的划分以及次固结系数 C_c 与结构强度有关,经预压结构破坏以后土样的主次固结分界及次固结系数 C_c 主要受预压荷载 P_p 影响。

【关键词】 软土;结构性;次固结

【中图分类号】 TU 411 **【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2010.03.010

Research on Secondary Consolidation of Structural Fuzhou Clays

Wang Juan¹ Luo Kaizhen

(1. Jiang Xi College of Applied Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China;

2. Jiangxi Gannan Highway Survey and Design Institute, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

【Abstract】 Based on a group of one-dimensional consolidation test of Fuzhou soft soil in undisturbed and remolded state the structural characteristics of soft soil is examined. Secondary consolidation properties of soft soil has been researched based on a series of one-dimensional secondary consolidation test for undisturbed samples and overload pre-pressure soft soil. The results show that the soft soil of Fuzhou is with structural, for that undisturbed soil and the remolded soil consolidation curve is obviously different; the separation of primary consolidation and secondary consolidation and the secondary consolidation ratio C_c of undisturbed soil are related to structural strength. These two characteristics are depends on preconsolidation pressure p_p in structural damaged soil after preloaded.

【Key words】 soft soil; structure property; secondary consolidation

0 引言

福州平原地处沿海,软土发育,由一套海相和海陆过渡相组成,埋深大多在 3 m 以内,甚至有的暴露地表,属于浅埋型^[1]。天然沉积的软土一般具有结构性,结合福州地区多年建设经验可知,福州地区软土在工程性质中表现出压缩性高、承载力低、结构性强等特性。鉴于软土地基次固结沉降问题日益突出,且有研究表明,次固结系数受土体结构的影响^[2],本文即以福州地区淤泥为研究对象,分析其结构性特征及其对次固结特性的影响。

1 土体结构性试验

为了研究福州地区软土的结构性特征,本文选取闽江沿岸某工地第一层淤泥层作为研究对象,人工现场取土,取土深度 3 m,土样呈深灰色,物理学性质指标见表 1。

表 1 原状土物理力学性质指标

$w/\%$	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	e	$w_L/\%$	$w_p/\%$	a_{1-2}/MPa^{-1}
68.0	15.4	1.700	55.3	33	1.86

为了研究土体的结构性,本文取原状土样 1 号(原 1),并制备相应的重塑土样(重 1),分别在 WG-2A 型双联固结仪上进行双面排水固结试验,重塑土按照含水量和初始孔隙比与原状土相同的标准制备^[3-5]。土样的压缩曲线见图 1。

从图中可以看出,福州地区的浅层软土具有结构性,采用 Casagrande 法计算土样的结构屈服应力为 55 kPa。原状土的压缩曲线可以分为三段,即平缓段、陡降段及趋于重塑土压缩曲线段。在小于结构屈服应力的固结压力下,主要是土体初始结构性的自我调整,变形很小,表现为线性的应力应变关系。当固结压力达到结构屈服应力时,压缩性急剧

增大,土的压缩曲线出现陡降段,此时土的初始结构大部分被破坏,力的微小增量会导致变形的较大增长。压力继续增大,土的初始结构最后被完全破坏,颗粒之间的滑移成为变形的的主要原因,与重塑土的结构趋于一致,从压缩曲线可以看出,原状土与重塑土的压缩曲线逐渐趋于一致^[6]。

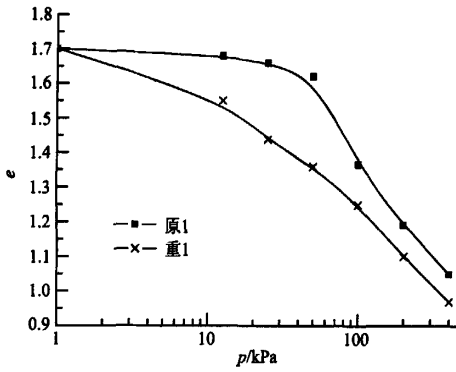


图1 土样压缩曲线

重塑土的压缩曲线近似为一条直线,说明重塑土的结构在重塑过程中已经被破坏了,主要靠颗粒之间的滑移来平衡外力,随着累积荷载的增加,土体逐渐被压密。以上研究与雷华阳^[7]、王立忠^[8]等人的研究结果是一致的。

2 结构性土体的一维次固结试验

为研究结构性软土的次固结特性,笔者进行了如下几组一维次固结试验:

1) 分级加荷:取原状土3号样,各级压力为:12.5 kPa、25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa,各级压力持续3天。

2) 预压荷载作用下的一维次固结试验(2组)

为研究预压荷载对结构性软土的次固结特性的影响,对5号和6号原状土样进行了预压处理,试验时先对试样预压10h,然后卸荷回弹24h,再逐级加荷。5号土样的预压力 $p_p = 75$ kPa,6号土样的预压力 $p_p = 100$ kPa。每级荷载持续3天,具体方案如下:

① 5号土样各级压力顺序为:75 kPa、25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa;

② 6号土样各级压力顺序为:100 kPa、25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa。

试验均在WG-2A型双联固结仪上进行。

3 次固结曲线分析

根据太沙基理论,变形-时间对数曲线在初始阶段为一曲线,而后会出现反弯点,因而,可以用

Casagrande 作图法来确定主次固结的分界点^[9]。下面即讨论不同试验条件下结构性土体的次固结曲线特征。

3.1 级加荷时土样次固结曲线特性

3号原状土样分级加压次固结试验的 $e-lgt$ 关系曲线见图2,从图中可以看出,当外力小于结构屈服应力时,原状土在整个阶段变形很小,结构性没有破坏,结构强度成为外荷载继续作用的机械阻力,颗粒之间也没有明显的滑移产生,土体骨架蠕变变形亦不显著,次固结不明显;当外加荷载达到结构屈服应力时,超过土体的弹性变形极限,土结构性开始破坏,进入塑性变形阶段,在外荷载持续作用下,内部的结构不断发生软化,结构性强度不断降低,导致变形不断加剧,曲线上表现出主次固结分界明显;土体的结构性被破坏以后,继续加载时土体逐渐被压密,变形的速率越来越小,主固结变形逐渐减小,主次固结界限模糊^[10]。

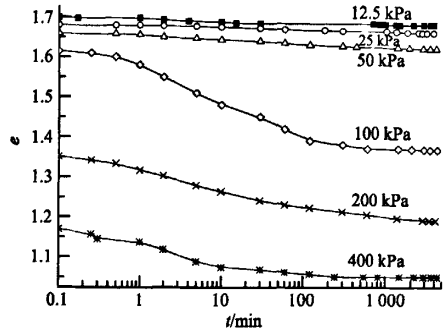


图2 3号土样 $e-lgt$ 关系曲线

3.2 经预压处理后土样的次固结曲线特性

5号、6号土样先经预压处理,卸荷回弹后再进行逐级加荷,预压后土样在各级荷载作用下的 $e-lgt$ 曲线见图3、图4,由图可以看出以下几点:

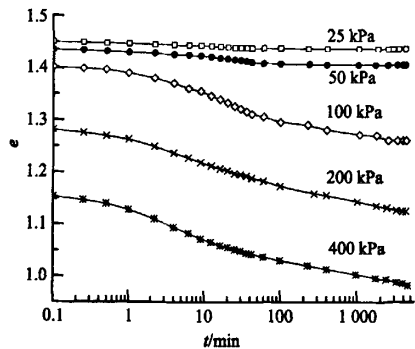


图3 5号土样 $e-lgt$ 关系曲线 (预压应力 $p_p = 75$ kPa)

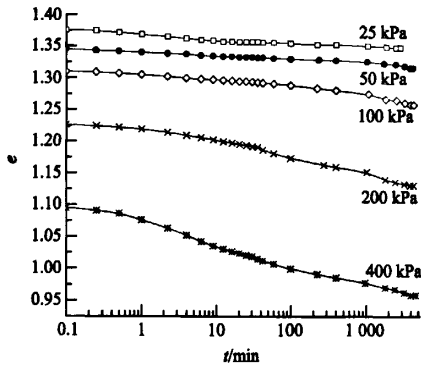


图4 6号土样 e - $\lg t$ 关系曲线
(预压应力 $p_p=100$ kPa)

1) 经预压处理后的土样结构已经破坏, 当固结压力小于预压压力时, e - $\lg t$ 曲线比较平缓, 主次固结分界也不明显, 因为此时土体在预压压力下主固结已经完成, 再施加荷载时, 主要产生次固结变形, 主固结变形很少, 次固结变形相对增大模糊了主次固结分界。

2) 当固结压力大于预压压力后, e - $\lg t$ 曲线的坡度明显变陡, 此时土体的主固结变形占主要部分, 主次固结分界更明显。在相同荷载下, 所受预压荷载比较小土样, 如本次试验的5号土样, 其 e - $\lg t$ 曲线表现出更明显的主次固结分界点。当固结压力大于预压荷载时, 所受预压荷载较小的土样, 无论是因孔隙水排出而产生的主固结变形还是因土体骨架的蠕变变形而产生的次固结变形均较大, 主次固结分界更明显。而预压荷载较大时, 土颗粒被充分压密, 土体内部达到一个更加稳定的状态, 主次固结变形均减小, 从而导致主次固结分界模糊^[11]。

4 结构性土的次固结系数

Buisman(1936年)认为, 在次固结变形阶段, 变形与时间对数之间基本呈线性关系, 并在此基础上提出了次固结系数的概念。次固结系数可由土样的 e - $\lg t$ 关系曲线求得:

$$C_s = -\Delta e / (\lg t_2 - \lg t_1) \quad (1)$$

式中: t_1 为相当于主固结达到 100% 的时间; t_2 为需要计算次固结的时间。本文即采用上式进行次固结系数的计算。

4.1 分级加荷土样的次固结系数

根据每一级固结压力下的 e - $\lg t$ 曲线, 据(1)式可求得相应于不同固结压力下的次固结系数, 3号土样的 C_s - p 曲线见图5。

由图5可以看出, 试验得出土样的次固结系数小于0.02, 即次固结特性不明显。在压力小于结构屈服

应力时, 次固结系数 C_s 比较小, 而且随着压力的增大呈增大趋势, 但是增加的幅度比较小, 当压力大概等于结构屈服应力时, 次固结系数达到最大值, 之后又随压力的增大有缓慢减小的趋势, 但是减小的幅度很小。

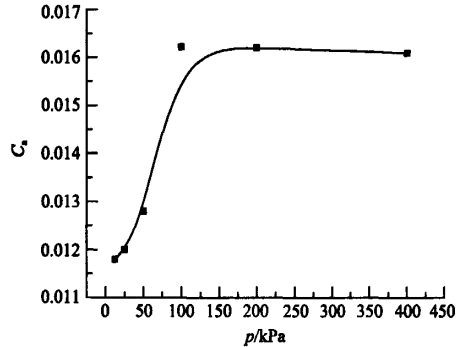


图5 3号土样的次固结系数与压力关系曲线

开始加荷的时候, 压力远远小于土样的结构屈服应力, 此时主要靠颗粒之间水膜的挤压产生变形, 压缩性比较小, 土体仍处于弹性变形范围之内, 因土体骨架蠕变变形产生的次固结变形量较小, 因此次固结系数也比较小。当压力继续增大接近结构屈服应力时, 土体内部颗粒为平衡外部压力, 骨架产生较大的蠕变变形, 此时次固结系数的增幅比较大。压力一旦超过结构屈服应力, 土体结构被大量破坏, 压缩量增大, 颗粒之间滑移增大, 土体骨架蠕变变形加剧, 在图上表现为固结压力超过土体的结构屈服应力时次固结系数迅速增大。随着累积荷载的作用, 土体颗粒逐渐被压密, 颗粒之间水化膜表现出弹性, 成为颗粒彼此接近时的机械阻力, 次固结变形逐渐减少, 土样均出现次固结系数降低的现象。

4.2 经预压处理后土样的次固结系数

经预压处理后2个土样的 C_s - p 曲线见图6, 从图中可以看出, 施加预压荷载 p_p 后, 土样的次固结系数的变化规律如下:

1) 预压后土样的次固结系数的最大值仅相当于未预压土样的最小值, 可见结构破坏以后, 土样的次固结变形均大大减小。

2) 当外加荷载小于预压荷载 p_p 时, 土体处于超固结状态, C_s 值明显小于未预压状态下的 C_s 值。由于加荷卸荷作用, 处于超固结状态的土体已经产生塑性变形, 土体内部已经达到一个比较稳定的状态, 因而再加荷时次固结较小。可见, 超载预压对减少工后次固结沉降是有利的。

3) 固结压力大于预压荷载 p_p 时, 土体又重新产生主固结变形和次固结变形, 土体内部颗粒重新调整

自身位置来平衡外力,此时次固结系数有较大的增长;随着压力增大,曲线逐渐变平缓,次固结系数 C_c 逐渐趋于一个比较稳定的值,而且预压荷载越大次固结系数越小。因为6号土样在较大的预压荷载作用下,颗粒之间已经充分镶嵌并已调整到一个更稳定的状态,次固结系数增长幅度更小。随着累积荷载作用,土体被充分压密,颗粒之间的水膜充当了继续压密的斥力,次固结系数均有稍微减小的趋势。

从以上结果可见,当固结压力小于预压荷载时,土体已经固结完全,次固结系数很小,说明超载预压可以明显降低次固结变形,为减小工后次固结沉降提供了有效的技术路径^[9]。

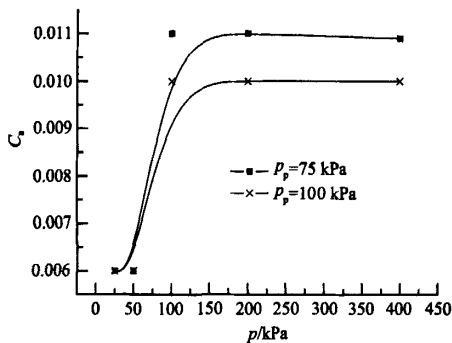


图6 经预压处理后土样的次固结系数与压力关系曲线

5 结论

本文从福州地区第一层淤泥的一维次固结试验分析了福州地区软土的结构性特征及其对次固结特性的影响,主要得出以下几点结论:

1)从福州地区原状土和重塑土的压缩曲线可以看出,福州软土具有明显的结构性,因为结构屈服应力的存在,使得原状土压缩曲线呈现明显的三阶段。

2)原状土的主次固结的划分及次固结系数均受土体的结构屈服应力控制。当固结压力在结构屈服应力附近时,主次固结分界比较明显,次固结系数出现突然增大的现象;外力继续增大时,次固结变形

明显降低,主次固结界限变得模糊,次固结系数也有稍微降低的趋势。

3)经过预压荷载作用的土,因原状结构被完全破坏,主次固结划分和次固结系数主要受预压荷载的影响。压力小于预压荷载时,土体的主次固结分界不明显,次固结系数较小;当固结压力大于土体的结构屈服应力时,主次分界明显,次固结系数出现较大程度的增长;当压力继续增大,土体主次分界也逐渐模糊。结构破坏后土的次固结系数远远小于原状土,因此预压处理对消除次固结沉降有利。

参 考 文 献

- [1] 陈皓彬. 建筑地基研究文集[M]. 福州:福建省地图出版社,2005.
- [2] 邵光辉,刘松玉. 海相结构软土的次固结研究[J]. 岩土力学,2008,29(8):2057-2062.
- [3] 南京水利科学研究所土工研究所. 土工试验技术手册[J]. 北京:人民交通出版社,2003:18-103.
- [4] 袁聚云. 土工试验与原理[M]. 上海:同济大学出版社,2003:17-124.
- [5] 朱思哲,刘 虔,包承纲,等. 三轴试验原理与应用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2003:6-142.
- [6] 熊传祥. 软土结构性与软土地基损伤数值模拟[D]. 杭州:浙江大学,2000.
- [7] 雷华阳,肖树芳. 软土结构性的试验研究及其对工程特性的影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2004,34(1):106-110.
- [8] 王立忠,丁 利,陈云敏,等. 结构性软土压缩特性研究[J]. 土木工程学报,2004,37(4):46-53.
- [9] 周秋娟,陈晓平. 软土次固结特性试验研究[J]. 岩土力学,2006,27(3):404-408.
- [10] 于新豹,刘松玉,缪林昌. 软土次固结特性试验研究[J]. 岩土工程技术,2003(1):34-38.
- [11] 腾军林. 基于结构性的软土地基流变研究[D]. 福州:福州大学,2005.

收稿日期:2010-02-22