

# 软土卸荷次回弹变形特性研究

常 青,余湘娟,董卫军

(河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

**摘要** 对汕揭高速公路 BK0+250 右断面的淤泥土样进行了蠕变试验研究,确定了原状土和重型土的主次回弹变形的划分方法.研究表明:当回弹比相同、最大预压荷载不同时,次回弹系数相同;当最大预压荷载相同、回弹比不同时,次回弹系数随回弹比的增大而增大.

**关键词** 淤泥;卸荷;回弹比;次回弹系数

中图分类号: TU447 文献标识码: A 文章编号: 1000-198X(2006)04-0444-03

关于软土卸荷方面的问题,国内外已进行了较多研究.例如:陈永福等<sup>[1]</sup>分析了上海软土卸荷-再加荷过程的变形特性,并通过侧限试验得出了回弹指数;刘祖德等<sup>[2]</sup>研究了平面应变条件下膨胀土的卸荷变形问题;刘国彬等<sup>[3]</sup>研究了上海软土的卸荷模量;潘林有等<sup>[4-5]</sup>研究了卸荷状态下土的回弹及强度问题;魏汝龙等<sup>[6-7]</sup>研究了压缩性因素对孔压计算结果的影响及软土孔压特性的归一化问题;师旭超等<sup>[8]</sup>研究了卸荷作用下软土变形的临界卸荷比问题.而在高等级公路工程建设中,采用预压荷载方法处理软土地基时需考虑卸荷回弹对软土地基变形的影响,但国内外对淤泥类软土卸荷次回弹变形规律的研究还很少.为此,笔者通过汕头至揭阳高速公路软土地基 BK0+250 右断面上 3.8~4.1 m 深度处的原状土和重塑土 2 类土样的单向压缩试验,研究了淤泥土的卸荷回弹变形特性.

## 1 试验设计

### 1.1 淤泥土样的基本物理性质指标

本次试验所用土样取自汕头至揭阳高速公路工地.为了使试样保持较高的原状性,采用薄壁取土器取土,同时在运输过程中采取了使土样少受扰动的多种措施.经测试,土样的天然含水率为 89.0%,土粒相对体积质量为 2.63,天然孔隙比为 2.547,湿密度为 1.50 g/cm<sup>3</sup>,干密度为 0.78 g/cm<sup>3</sup>,液限为 86.5%,塑限为 34.6%.

### 1.2 淤泥的回弹变形试验设计

根据淤泥土压缩性大、天然强度低、含水率高和透水性差等特性以及试验要求进行了回弹变形试验设计.(a)试样制备.原状土样,按土工试验国标规定进行制备,用环刀切取高度为 2 cm、面积为 30 cm<sup>2</sup> 的试样;重塑土样,在保持原状土的含水率和湿密度不变的情况下对原状土进行一定程度的扰动,使得原有结构遭到适当破坏后,用环刀切取高度为 2 cm、面积为 30 cm<sup>2</sup> 的试样.(b)荷载施加.采用分级施加荷载的方法,即在施加的一级荷载持续 7d,变形达到基本稳定时再施加下一级荷载.(c)试验装置及分组.在室温基本恒定的地下室用常规小型单轴压缩仪进行试验,以消除温度变化对土样变形特性的影响;将试样分为 6 组,每组按  $\Delta p_i/p_i = 1$  的加载梯度进行加荷,按不同回弹比进行卸荷,以分析淤泥土在不同回弹比下的变形特性.

## 2 试验结果分析

### 2.1 淤泥土在不同回弹比情况下的次回弹变形

为了便于分析淤泥土样的卸荷回弹变形,将卸荷前的最大荷载  $p_{\max}$  与卸荷后现有的上覆荷载  $p_0$  的比值定义为回弹比  $L$ ,即

$$L = p_{\max}/p_0$$

(1)

由式(1)算得的不同试验组的回弹比如表1所示。

不同回弹比情况下孔隙比与时间的关系如图1所示。

由图1可知,孔隙比在卸荷开始阶段随着时间的增加而增大,当 $64\text{ min} \leq t \leq 100\text{ min}$ 时,曲线出现拐点。因此,本文以拐点为界,将回弹时间划分为主回弹时间段和次回弹时间段,拐点时间定义为次回弹变形的开始时间。

由图1可以看出:(a)淤泥土样的回弹变形可分为主回弹变形和次回弹变形2个阶段。(b)当卸荷前的 $p_{\max}$ 较小时,次回弹变形不很明显;当 $p_{\max}$ 较大时,次回弹变形较明显。(c)当回弹比相同、 $p_{\max}$ 不同时,次回弹变形系数比较接近。(d)当 $p_{\max}$ 相同、回弹比不同时,次回弹系数随回弹比的增大而增大。因此,次回弹系数的大小与回弹比和最大固结荷载有关。

表 1 不同试验组的回弹比

| Table 1 Resilience ratio for different test groups |                       |                  |     |
|----------------------------------------------------|-----------------------|------------------|-----|
| 试验组别                                               | $p_{\max}/\text{kPa}$ | $p_0/\text{kPa}$ | $L$ |
| 1                                                  | 200                   | 100              | 2   |
| 2                                                  | 400                   | 100              | 4   |
| 3                                                  | 400                   | 50               | 8   |
| 4                                                  | 400                   | 25               | 16  |
| 5                                                  | 800                   | 200              | 4   |
| 6                                                  | 200                   | 50               | 4   |

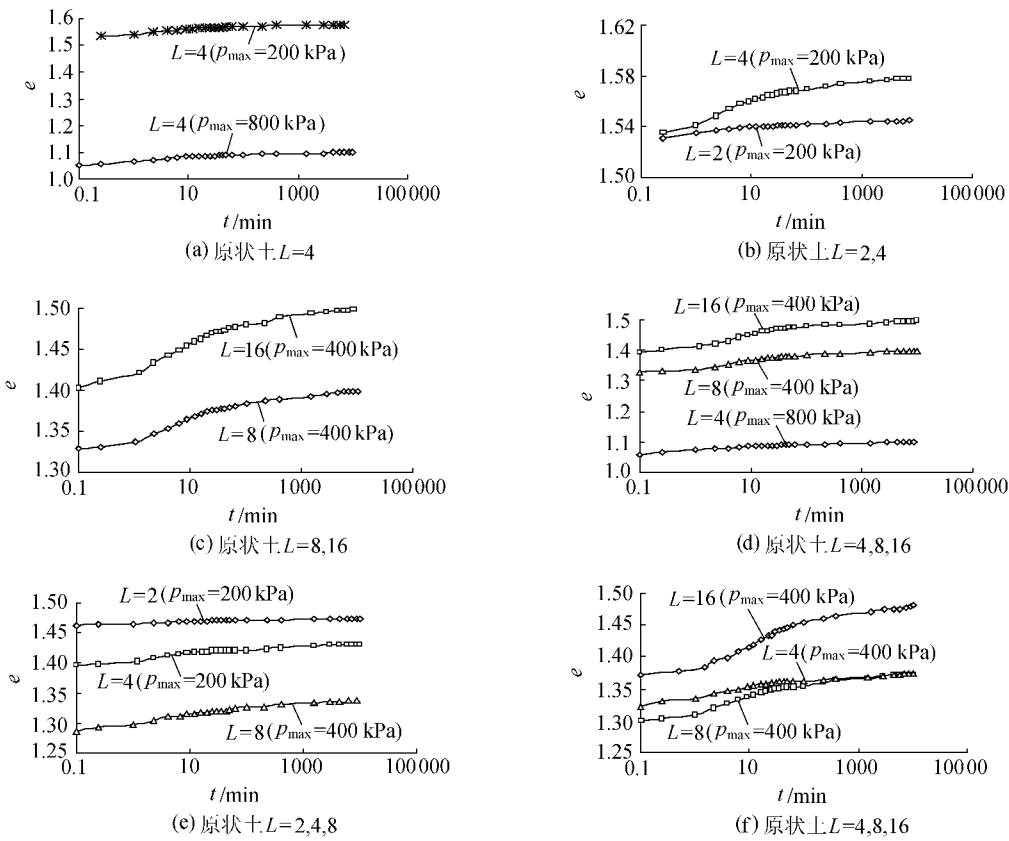


图 1 不同回弹比情况下孔隙比  $e$  与时间  $t$  的关系

Fig.1 Variation of porosity  $e$  for undisturbed and disturbed soils at different resilience ratios

重塑土的次回弹系数  $C_{sa}$  与回弹比  $L$  和最大预压荷载的关系与原状土有着类似的规律。

### 2.2 回弹比 $L$ 与次回弹系数 $C_{sa}$ 的关系

为了研究土体应力历史对次回弹系数的影响,以图1(d)中  $L=8$  的原状土孔隙比与时间的半对数关系曲线为例推求次回弹系数。即:先通过添加次回弹阶段直线段趋势线的方法得到线性关系式,然后将该趋势线的线性斜率作为次回弹系数。

原状与重塑试样的回弹比  $L$  与次回弹系数  $C_{sa}$  关系曲线如图2所示。

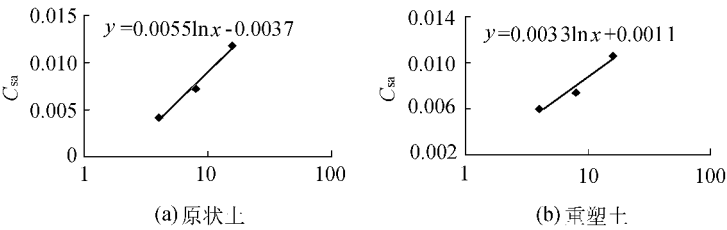


图 2 回弹比  $L$  与次回弹系数  $C_{sa}$  的关系

Fig.2 Relationship between resilience ratio  $L$  and coefficient of secondary resilience  $C_{sa}$

由图2可以看出,原状土和重塑土的次回弹系数与回弹比呈线性关系,即次回弹系数随着回弹比的增大而增大;不同回弹比下原状土次回弹系数的变化范围要比重塑土次回弹系数的变化范围大。

3 结 论

- a. 淤泥的次回弹变形系数与回弹比呈线性关系,且次回弹系数随回弹比的增大而增大。原状土与重塑土的变形规律相似:当回弹比相同、最大预压荷载不同时,回弹变形系数相同;当回弹比不同、最大预压荷载相同时,回弹变形系数随回弹比的增大而增大。
- b. 从孔隙比与时间的半对数曲线来看,在不同的荷载作用下,以卸荷回弹变形时间64~100 min时出现的曲线拐点作为主、次回弹阶段的分界点比较合适。
- c. 原状土与重塑土的变形规律相似,而次回弹系数却有所不同,主要原因是土样受到了扰动。不同回弹比下原状土次回弹系数的变化范围比重塑土次回弹系数的变化范围大,并可以用线性关系式表示。
- d. 对淤泥类软黏土地基来说,主回弹变形和次回弹变形都不容忽视。淤泥类软黏土地基发生回弹的过程是短暂的,而发生沉降变形则是主要的。

参考文献:

[1] 陈永福,曹名葆.上海地区软黏土的卸荷-再加荷变形特性[J].岩土工程学报,1990,12(2):9-17.  
[2] 刘祖德,孔官瑞.平面应变条件下膨胀土卸荷变形研究[J].岩土工程学报,1993,15(2):68-73.  
[3] 刘国彬,侯学渊.软土的卸荷模量[J].岩土工程学报,1996,18(6):18-23.  
[4] 潘林有,胡中雄.深基坑卸荷回弹问题的研究[J].岩土工程学报,2002,24(1):101-104.  
[5] 潘林有,胡中雄,程玉梅.卸荷状态下黏性土强度特性试验研究[J].岩土力学,2001,22(4):490-493.  
[6] 魏汝龙.正常压密黏土在开挖卸荷后的不排水抗剪强度[J].水利水运科学研究,1984,1(4):39-43.  
[7] TAYLOR D W, MERCHANT W. A theory of clay consolidation accounting for secondary compression[J]. Journal of Mathematics and Physics, 1940, 19(2):1235-1260.  
[8] 师旭超,汪稔,韩阳.卸荷作用下淤泥变形规律的试验研究[J].岩土力学,2004,25(8):1259-1262.

Study on secondary resilience deformation of soft soil under unloading

CHANG Qing, YU Xiang-juan, DONG Wei-jun

(Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Creep experiment was performed on silt samples from the right section BK0 + 250 of Shantou-Jieyang Expressway. The method for classification of the primary and secondary resilience deformation of undisturbed soil and disturbed soil was determined by analysis of the experimental result. It is concluded that the coefficients of secondary resilience of the two soil samples are the same under the condition that the resilience ratios of the soil samples are the same, while the maximum pre-loads are different; otherwise, if the resilience ratios are different, the coefficients of secondary resilience of the two soil samples increase with the increase of the resilience ratios under the same maximum pre-loads.

**Key words:** silt; unloading; resilience ratio; coefficient of secondary resilience