

# 淤泥土在三轴剪切试验中的性状和应力路径

张芳枝,吴煌峰,梁志松

(广东水利电力职业技术学院,广东 广州 510635)

摘要:通过对原状淤泥土的三轴固结不排水剪切试验,研究淤泥土在三轴剪切试验中的性状和应力路径,得出了一些有益的结论。

关键词:淤泥土;三轴剪切试验;性状;应力路径

## 1 概述

我国沿海一带海相淤泥土广泛分布,其工程特性独特,有着高含水量、高液限、高塑性及压缩性大、固结缓慢、抗剪强度低等特点。通过三轴固结不排水剪切试验,研究淤泥土在三轴剪切试验中的性状和应力路径。

## 2 试验方法和基本性质

### 2.1 试验方法

对钻孔原状土样采用应变控制式三轴剪力仪进行固结不排水剪切试验<sup>[1]</sup>,先将原状土样制成直径 3.91cm,高 8cm 的圆柱形土样,进行抽气饱和,在不同围压下等进行等压固结,关闭排水阀门,再施加轴向压力,受剪时保持试样体积不变,其剪切速率为 0.368mm/min。

### 2.2 基本性质

颗粒组成以细粒为主,含水量一般在 80% 以上,土粒比重为 2.67,天然密度较小,一般在 1.45 ~ 1.55g/cm<sup>3</sup> 之间,孔隙比很大,一般 > 1.8,饱和度在 95% 以上,液限在 50% ~ 60% 之间,属于高液限土,塑性指数一般为 25,有的高达 30 以上,有机质含量为 3% ~ 4%。表 1 列出了土样性质指标。

表 1 土样性质指标

土名	含水量 (%)	土粒比重 (g/cm <sup>3</sup> )	天然密度 (g/cm <sup>3</sup> )	饱和度 (%)	孔隙比	液限 (%)	塑限 (%)	液性指数	塑性指数	压缩模量 (MPa)
淤泥土	81	2.67	1.47	95	2.29	52	26	26	.21	1.2

## 3 淤泥土在三轴剪切试验中的性状

淤泥土的抗剪强度除受固结程度、排水条件影响外,在一定程度上还受它的应力历史的影响。由于取样过程中引起的应力释放,因此,在固结不排水剪切试验中,固结压力至少大于该试样的自重应力。

### 3.1 应力与轴向应变关系

土体的应力与轴向应变关系如图 1 所示。结果表明,随着周围压力( $\sigma_3$ )的增加,能在较大的轴向应变条件下出现较高的峰值;应力—轴向应变关系曲线呈随应变硬化型,峰值过后,表现出极微弱的随应变软化型;同时,应力—轴向应变关系呈明显的非线性,表明土体存在塑性变形。

### 3.2 孔隙压力与轴向应变关系

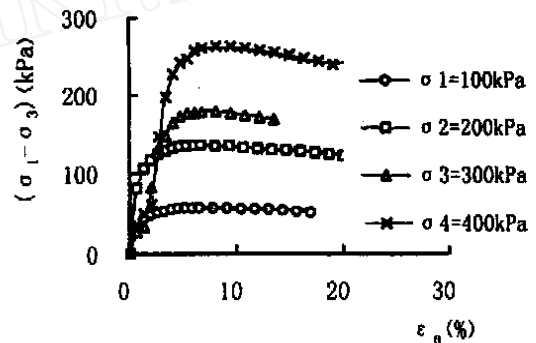


图 1 应力与轴向应变关系曲线

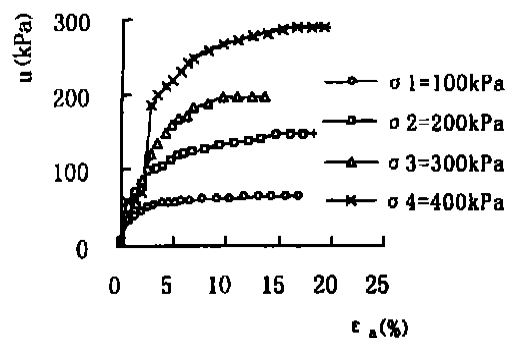


图 2 孔隙压力与轴向应变关系曲线

淤泥土的含水量大于液限,土中存在大量的自由水,在外荷作用下,孔隙水压力反映灵敏,产生明显的超静孔隙水压,其孔压系数 B 接近 1。试样在 100kPa、200kPa、300kPa、400kPa 的围压下其最大孔压系数 B 依次为 0.950、0.985、0.990、0.995,随着孔隙水的排出,试样开始固结变形。

土体的孔隙压力与轴向应变关系曲线如图 2 所示。结果表明,随着固结时压力的增加,剪切时孔隙水应力相应增加;在剪切的初始阶段,孔隙水应力急剧上升,土体剪切破坏后,孔隙水应力仍出现上升,然后趋向一个稳定值。这种孔隙压力—轴向应变关系与一般粘性土在固结不排水剪中表现出的现象有差别,一般

饱和粘土在固结不排水剪中的孔隙压力—轴向应变关系曲线, 孔隙压力随轴向应变先上升然后下降。

### 3.3 固结不排水强度

在固结不排水剪试验中, 一组饱和试样先在不同围压  $\sigma_3$  ( $\sigma_3 = \sigma_c + \sigma_3$ ) 下固结稳定, 然后, 在不允许水进出的条件下施加附加轴向应力直至剪破。在试验中试样的剪前固结压力将随  $\sigma_3$  的增加而增加, 剪前孔隙比则相应减小, 因此, 强度和极限应力圆也将相应增大, 作这些圆的包线即得到固结不排水剪强度线, 强度包线如图 3 所示。其试验结果如下:  $C_{cu} = 6.0 \text{ kPa}$ ,  $\phi_{cu} = 14^\circ$ ;  $C = 9.0 \text{ kPa}$ ,  $\phi = 25.5^\circ$ 。

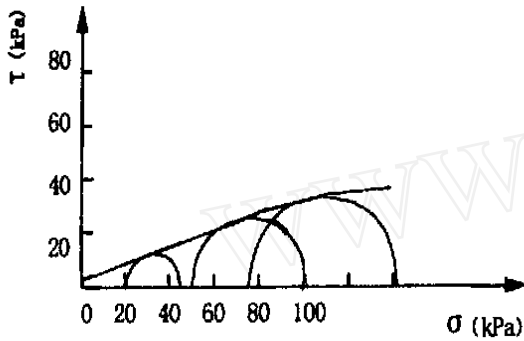


图 3 强度包线

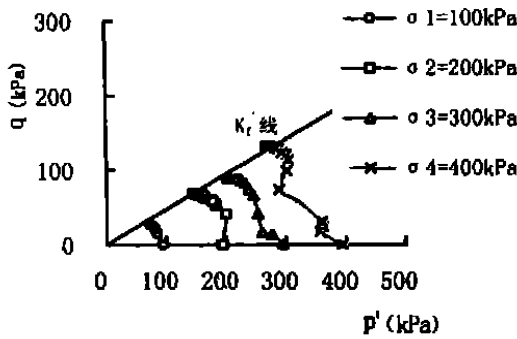


图 4 有效应力路径曲线

### 4 淤泥土在三轴剪切试验中的应力路径

试样在受剪过程中的应力状态变化可用某个特定平面上的应力状态的轨迹即应力路径来反映。应力路径有两类, 即总应力路径 (TSP) 和有效应力路径 (ESP)。它们分别表示试样在受剪过程中某个特定平面上的总应力变化和有效应力变化。图 4 为淤泥土在三轴剪切试验中最大剪应力面上的有效应力路径。图 4 中的应力轨迹代表了径向压力  $\sigma_3$  不变, 增加轴向压力  $\sigma_1$  至试样剪破的情况。结果表明, 剪切的开始阶段应力路径点比较松散, 在峰值附近变得密集。

### 5 结束语

通过三轴固结不排水剪切试验, 研究淤泥土在三轴剪切试验中的性状和应力路径, 探讨了淤泥土在剪切时的应力应变特性、孔隙水压力变化规律、强度取值以及应力路径特征。对淤泥

土在三轴剪切试验中表现出的性状和应力路径变化机理还有待进一步研究。

### 参考文献:

[1] 土工试验规程 (SL237 - 1999) [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.

(上接第 18 页)

由公式(3)可得指标 i 对液化的相对隶属度矩阵

$$R = \begin{Bmatrix} 0.65 & 0.65 & 0.65 & 0.65 & 0.65 \\ 0.87 & 0.87 & 0.87 & 0.87 & 0.87 \\ 1 & 0.333 & 0.111 & 0 & 0.111 \\ 1 & 0.343 & 0 & 0.151 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.642 \end{Bmatrix}$$

由公式(4)可得级别 h 指标 i 的特征值  $\lambda_{ih}$  对液化的相对隶属度矩阵为

$$S = \begin{Bmatrix} 1 & 0.75 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.75 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.333 & 0.222 & 0 \\ 1 & 0.333 & 0.167 & 0 \\ 1 & 0.714 & 0.214 & 0 \end{Bmatrix}$$

由公式(8)可得砂土各个级别的最优相对隶属度矩阵如下

$$u_{hj} = \begin{Bmatrix} 0.1595 & 0.0254 & 0.0018 & 0.0015 & 0.0095 \\ 0.7283 & 0.5132 & 0.0153 & 0.0123 & 0.9706 \\ 0.878 & 0.4287 & 0.9774 & 0.9815 & 0.0165 \\ 0.0245 & 0.0327 & 0.0055 & 0.0046 & 0.0034 \end{Bmatrix}$$

由此求得样本 j 对模糊概念的级别 h 的最优相对隶属度

$$H_j = (2.8597, 2.4687, 2.9866, 2.989, 2.4593)$$

### 3 结论

根据各样本的最优相对隶属度可知样本 1、3、4 属中液化, 样本 2、5 则介于弱液化与中液化之间。该方法将砂土液化程度的判别问题概化为多目标模糊模式识别问题, 克服了目前采用较多的模糊综合评判方法(采用取大、取小算子)存在丢失信息过多、容易使判别结果趋于均化的缺点, 因而评价更全面一些, 具有一定的实用意义。

### 参考文献:

[1] Halder A, Tang W H. Probabilistic evaluation of liquefaction potential. J Geotech Engrg, 1979, 104(2).  
[2] 汪明武, 李丽, 罗国焯. 基于 Monte - Carlo 模拟的砂土液化评估研究 [J]. 工程地质学报, 2001, (2).  
[3] 何广讷. 土的若干新理论研究与应用 [M]. 水力电力出版社, 1994.  
[4] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1994.  
[5] 模糊模式识别模型及其在粉土液化程度判定中的应用 [J]. 勘察科学技术, 2001, (3).  
[6] 李岩, 王国利, 张文国. 地下水水质评价的模糊模式识别模型及应用 [J]. 勘察科学技术, 1998, (6).  
[7] 汪明武, 罗国焯. 可靠性分析在砂土液化势评价中的应用 [J]. 岩土工程学报, 2000, 22(5).