

文章编号: 1002-0268 (2005) 11-0039-03

# 饱和粉土的孔压和液化特性研究

郝建新<sup>1</sup>, 魏玉峰<sup>2</sup>

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2 山东省日照市公路局, 山东 日照 276800)

**摘要:** 对苏北地区典型的粉土进行试验研究, 分析了饱和粉土的孔压发展规律和液化特性。探讨了不同因素对粉土液化特性的影响和变化规律, 并对粉土和砂土的孔压变化规律进行了对比, 得出粘粒含量越多粉土的液化势越高的结果; 两者在施加循环应力后, 孔压的变化呈不同的发展趋势; 同时提出了粉土孔压数值模型。

**关键词:** 粉土; 重塑土; 孔压; 液化

中图分类号: TU411

文献标识码: A

## Study on Pore Pressure and Liquefaction Behavior of Saturated Silt

HAO Jian-xin<sup>1</sup>, WEI Yu-feng<sup>2</sup>

(1. Transportation College, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2 Highway Administration Bureau of Rizhao City, Shandong Rizhao 276800, China)

**Abstract:** This paper presents the test and research on typical silt conducted in Subei. It analysed the regularity of pore pressure and liquefaction behavior. The main purpose is to explore the liquefaction behavior affected by different factors. The liquefaction behavior of sand is discussed based on comparisons. The analysis results show that the higher the clay fraction, the greater of the liquefaction potential; and that the pore pressure will have different development trend under cyclic stress action. The authors proposed the model of pore pressure of the silt.

**Key words:** Silt; Remoulded soil; Pore pressure; Liquefaction

粉土是一种具有特殊工程性质的土类。在 1976 年的唐山大地震中, 从天津液化现场调查资料中发现, 液化不仅发生在砂基中, 含粘粒粉土也发生了极其严重的液化, 从此, 粉土液化引起了工程界的广泛重视。在江苏省的高速公路工程建设中, 在苏北地区遇到了一种比较特殊的粉土, 其粘粒含量少, 塑性指数也小, 由于其土体性质、颗粒组成等与砂土具有明显差异, 不能单纯的套用砂土得到的液化判别参数, 而且由于其分布范围广, 周围没有适宜的土质可以代替使用, 又缺乏对这种粉土进行工程性能改善和处治的方法。因此, 进行粉土的孔压模型和液化问题的研究, 探讨其规律性具有重要的实践意义。

### 1 试样

试验用土来自苏北地区, 是一种颇具代表性的粉土。土样的物理性质如表 1 所示。经击实试验得到重塑土样的  $\rho_{dmax} = 1.659 \text{g/cm}^3$ ,  $\omega_p = 13.8\%$ 。

### 2 试验方法

采用应力控制式三轴仪, 试验结果由光电记录仪记录。最大竖向压力 25kN, 最大围压 1.0MPa, 轴向最大变形 -5.0 ~ 5.0mm, 试验可同步记录循环应力、循环应变、孔隙水压力变化。

试样直径 5.0cm, 高 10.0cm 预先在试样外套上

收稿日期: 2004-08-30

作者简介: 郝建新 (1972-), 男, 江苏南京人, 讲师, 主要研究方向为港口航道及海岸工程。(skyhj@sohu.com)

橡胶膜进行抽气饱和，饱和度大于98%，双面排水固结，固结持续4h，固结应力比为 $K_c=1.0$ ，固结压力 $\sigma_o=150\text{kPa}$ 。固结完成后在不排水条件下施加竖向循环应力 $\sigma_d$ ，侧向应力保持不变，从而使得在试样

的 $45^\circ$ 平面的循环应力为 $\tau_d=\sigma_d/2$ ，这样就可以用 $\tau_d$ 来代替土体振动时水平面上的剪应力 $\tau_h$ 。当在试样上施加不同的循环应力比时就可以得到相对应的循环应变 $\epsilon_d$ 以及孔压 $\mu$ 的变化规律。

表1 土样物理性质

编号	取土位置	颗粒组成/%			液限/%	塑限/%	塑性指数	命名
		2~0.074/mm	0.074~0.002/mm	<0.002/mm				
1	K130+750	7.6	85.1	7.3	23.4	19.6	3.8	低液限粉土
2	K98+870	33.0	55.7	11.3	21.2	19.2	2.0	含砂低液限粉土
3	K119+250	21.7	65.5	12.8	22.9	19.5	3.4	含砂低液限粉土
4	K99+100	11.3	79.0	9.7	23.1	20.4	2.7	低液限粉土
5	K110+250	20.5	63.0	16.5	20.7	16.6	4.1	含砂低液限粉土

### 3 液化强度的分析

根据以往的研究成果，粉土的强度可分为两部分：一部分是土中粘粒的胶结作用及结构本身的固化凝聚力为主所形成的结构强度；另一部分为颗粒间原始凝聚力所组成的正常强度，即重塑土所表现出来的强度，这两部分之和就是原状土所表现出来的全部强度。粉土中各种颗粒的含量以及颗粒特征对粉土的强度都有影响，而其中粘粒含量的多少对其动强度特性有着举足轻重的影响，粘粒所起的润滑作用随含量的增加会变的更为显著，它使得土颗粒间的摩阻力减小，土颗粒更容易产生滑移，重新排列，致使动强度降低。

从原状粉土的抗液化强度关系曲线图1可以看出，粉土中粘粒含量的不同，在同一循环应力下达到液化所需要的循环周数有较大差异，所需循环周数相差在30次左右，甚至更多。也就是说随着粘粒含量的增加粉土的液化势提高。根据试验结果，在用粘粒含量为16.5%的粉土试验时，土样没有出现液化现象，其发生的破坏主要是由于土体变形增大引起的。这些试验结果与随着粘粒的增加粉土的动强度降低并不矛盾，由于粉土组成中起主要作用的还是粉粒和砂，它们的存在使土易于液化，但土中少量粘粒阻碍着液化的发生，这种作用随粘粒的多少而不同。

其它因素对粉土液化也各有影响。根据试验结

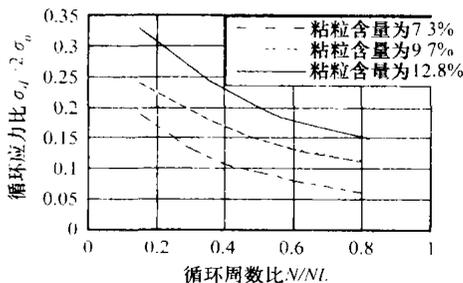


图1 不同粘粒含量粉土抗液化强度曲线

果，重塑土比原状土易于液化，如图2所示。另外，密度小的土比密度大的粉土易于液化；超固结比小的土比超固结比大的土易于液化；重塑土随着成型时间的增加，土的液化势也相应提高，其规律类似于砂土(图略)。

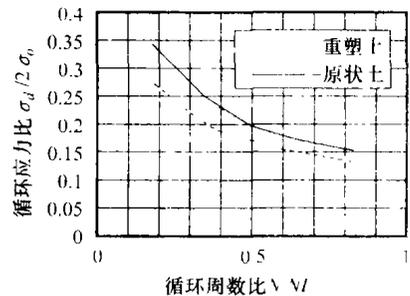


图2 重塑粉土与原状粉土抗液化强度曲线

### 4 孔压试验结果分析

#### (1) 孔压的发展规律

由试验结果(图3、图4)可以看出，粉土的原

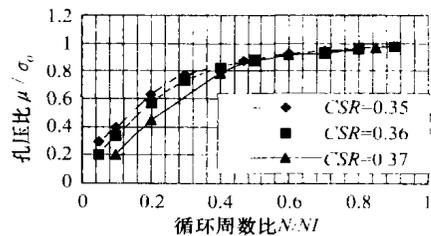


图3 孔压比与循环周数关系曲线(原状粉土)

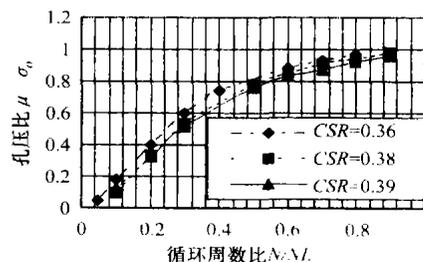


图4 孔压比与循环周数关系曲线(重塑粉土)

状与重塑土样在施加循环应力后, 其变化规律是一致的。在循环周数比  $N/N_L < 0.3$  左右时, 在不同的循环应力比 (Cyclic Stress Ratio, CSR) 下的孔压随着循环周数比的增大而急剧上升, 随着循环周数比的继续增大孔压增长速率减缓, 最后基本恒定。而砂土在循环周数比  $N/N_L < 0.8$  左右时, 孔压一直是稳定的持续增长, 随着循环周数比继续增大, 孔压急剧上升, 这与粉土的孔压增长趋势是不同的, 如图 5 所示。

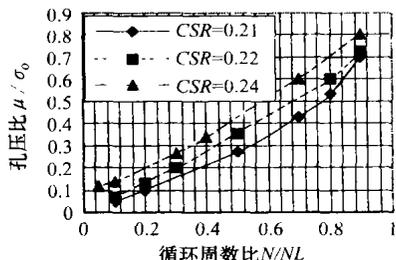


图 5 孔压比与循环周数关系曲线 (砂土)

分析其原因: 不管是原状还是重塑粉土试样, 其颗粒组成中小于 0.074mm 的粉粒和粘粒比例最高达到了 92.4%, 最小也有 57%, 这样其渗透系数要远远的小于砂土, 导致了在进行振动时孔压不容易消散和转移, 而体变势的增大使得初始孔压急剧上升。由于粉土中少量粘粒的存在, 使得粉土具有一定的粘聚力和结构强度, 在后期限制了体变势的增大, 导致后期孔压增长缓慢趋于稳定。而砂土在振动时其孔压极易消散和转移, 体变势也较小, 从而使得孔压增长缓慢, 在后期孔压急剧发展, 结构破坏。

(2) 孔压的数值模拟

根据试验得到的数据进行数值模拟, 可以得到孔压随相关参数的变化规律, 对于砂性土, Seed 提出了在等压固结不排水循环条件下的通过三轴试验得到的数值模拟关系式

$$\frac{\mu}{\sigma_o} = \frac{2}{\pi} \arcsin \left( \frac{N}{N_L} \right)^{1/2}$$

将本次试验数据进行集中分析, 回归后得到趋势线如图 6 所示。可知其与 Seed 的数值模拟关系式差异较大, 也就是说它不能用于预测粉土的孔压变化。为此作者根据本次试验提出了粉土的孔压数值模拟关系式

$$\frac{\mu}{\sigma_o} = a \ln \left( \frac{N}{N_L} \right) + b$$

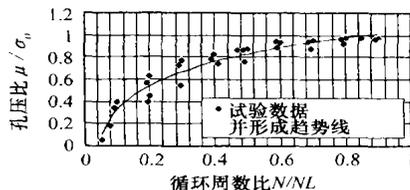


图 6 孔压比与循环周数关系曲线

经过最优化分析, 本次试验得到原状粉土的孔压数值模拟关系式的相关参数如下:  $a = 0.31$ ,  $b = 1.05$ ,  $s = 0.005$ ,  $r_{0.01} = 0.922$ 。

根据孔压数值模拟关系式就可以进行土层分析计算, 计算出粉土地区不同土层由于震动而产生的平均循环应力, 然后同粉土液化强度曲线上查得的抗液化应力相比较, 从而确定液化区域。

5 结论

(1) 液化是土的一种特殊强度问题, 影响粉土液化的因素很多, 如粘粒含量、密度、状态、超固结比、重塑土的成型时间等。其中粘粒含量的多少对粉土的液化可能性影响明显。

(2) 由于砂土与粉土在颗粒特征和结构特性方面的差异, 两者在施加循环应力后, 孔压的变化呈不同的发展趋势。

(3) Seed 的砂土孔压数值模拟公式不适用于粉土, 作者提出了相关孔压数值模型, 可以用此进行震动反应分析, 对粉土层进行液化区域的判断。

参考文献:

- [1] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [2] 曹宇春, 王天龙. 上海粉土液化特性及孔压模型试验研究 [J]. 上海地质, 1998 (3): 60-63.
- [3] 黄博, 陈云敏, 等. 粉土动力特性及液化势研究 [J]. 工程勘察, 2001 (2): 7-19.
- [4] Shen C.K., Vrymoed J.L., Veyeno C.K. Procceeding of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering [C]. 1999: 381-385.
- [5] 阮永芬, 巫志辉. 饱和粉土的若干动力特性研究 [J]. 岩土工程学报, 1995 (4): 100-106.