

饱和粉土在低围压下剪切特性的试验研究

章 伟¹, 林 霖², 冯秀丽², 董 攀¹

(1. 青岛理工大学 土木学院, 山东 青岛 266033; 2. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 通过室内静三轴试验, 对黄河水下三角洲埋岛海域沉积物——粉土的剪切特性进行了研究。比较了粉土在低围压和高围压下的剪切变形特性和强度特性。试验结果表明, 粉土在低围压(10, 20, 30, 40 kPa)下的应力应变曲线和高围压下的应力应变曲线总体趋势基本一致, 但在不同围压下其抗剪强度存在差别。

关键词: 粉土; 低围压; 应力-应变曲线; 抗剪强度

中图分类号: TU41; TU43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2006)08-0094-04

粉土是介于砂性土和黏性土之间, 塑性指数 $I_p \leq 10$ 且粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量不超过全质量 50% 的土。粉土在中国很多地区都有分布, 尤其在河口三角洲地区, 由于其特殊的沉积条件, 使粉土广泛分布在这一地带。近年来随着河口三角洲地区油气的开发和海岸工程的开展, 人们开始关注在这一地带的施工和构筑物的安全, 由于这一地区粉土往往处于表层沉积环境, 即处于低应力条件下, 所以作者以室内试验为基础, 研究了粉土在低围压下的剪切特性。长期以来, 较之砂性土和黏性土, 对粉土的研究一直很少, 还没有形成系统的理论。因此作者对饱和粉土在低围压下的剪切特性进行了研究。

1 试验准备

1.1 土样的物理性质

本试验所采用的土样来自现代黄河水下三角洲埋岛海域耿井水源沉降库, 该海域是胜利油田海上采油的主力区块。由于波浪和海浪作用, 不断把细颗粒物带向外海, 所以这一地区物源比较单一, 粒级较集中, 在厚度为 1.4~5.8 m 的表层沉积物中, 粉土分布最广, 达到 90%, 黏土最小, 不到 1%, 其余为粉质黏土^[1]。本次试验利用英国 MASTER2000 仪器进行土样颗粒分析, 土样的颗粒分析结果见表 1, 土样的中值粒径为 0.047 mm。本次试验采用的土样物理参数见表 2。

表 1 土样的颗粒分析结果

Tab. 1 The results of the gradation of silt

粒径(μm)	125~ 250	75~ 125	50~ 75	10~ 50	5~ 10	1~ 5	0.5~ 1	< 0.5
土粒体积分数(%)	0.195	16.426	28.055	46.996	2.559	3.909	1.552	0.308

表 2 土样的物理参数

Tab. 2 Physical parameters of the samples

含水量 (%)	相对密度	天然密度 (g/cm^3)	干密度 (g/cm^3)
29.2	2.70	1.95	1.47

1.2 土样的制备和饱和

1.2.1 试样制备

较之砂性土, 粉土的室内制备技术还很不成熟。目前采用的方法主要有两大类, 一类是击样法, 另一类是采用沉降方法, 每种方法各有其优缺点^[2]。本次试验采用的是击样方法, 即分层击实土样。该方法操

作简单, 为目前规范所采用^[3]。此法以原状土样的干密度为控制标准, 将称好的土样分 5 次置于击实器内分层击实, 各层土料数量应相同, 各层接触面应刨毛。最后考虑试样的下部比顶部密实将会对试验结果产生影响, 因此将制备好的土样都标出顶部和底部。

收稿日期: 2006-05-19; 修回日期: 2006-05-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40376015)

作者简介: 章伟(1968), 女, 浙江绍兴人, 讲师, 硕士, 主要从事地基、基础、地下结构方面的教学和研究工作, 电话: 0532-85071210, E-mail: zw1968@163.com

1.2.2 试样饱和

试样饱和的目的,是为模拟实际工程中土体处于饱和状态的条件,同时也为了消除试样中残留空气。不同土质条件,应选用不同的饱和方法。一般的饱和方法有毛管饱和、水头饱和、抽气饱和等。砂土可直接在仪器内浸水饱和;对于较易透水的,采用毛管法比较方便;对于不易透水的粘性土,多采用抽气饱和法。本次试验采用毛细管饱和法,将制备好的试样装入饱和器内,并旋紧螺母,然后直接浸水,放置两昼夜,使土样充分饱和。

2 试验内容和数据处理

2.1 试验内容

本次试验是三轴压缩的不固结不排水(UU)试验。在不排水剪时,试样含水量保持不变,所以试样体积也不变,但在剪切过程中,孔隙水压力发生变化。它适用于土体受力而孔隙水不易消散的情况。当建筑物施工速度快,土的渗透性较低,排水条件差,或只考虑短期施工过程中的稳定性时即采用此法,它相当于固结度 $U=0$ 。本次试验需要考虑的是粉土在低围压下的力学性质,故采取此法。

将试样安装好后,分别在围压 10, 20, 30, 40 kPa 下进行剪切直至破坏。本次试验对每级围压作了 3 次平行试验,对试验结果进行比较后取其中代表值。为比较粉土在不同围压下的剪切特性,对土样又进行 100, 200 kPa 高围压下的试验。本次试验采用 SJ1A.G 三轴剪切仪,所得数据采用 TWS3 自动数据采集系统处理。

2.2 数据处理

2.2.1 应力应变曲线

土的应力-应变特性是分析土工问题的重要依据。图 1 为本次试验根据计算机自动采集的数据,绘出的土样在各级围压下的应力-应变曲线。比较土样在不同围压下的应力-应变曲线可以看出,土样在未破坏以前,其应力随应变一起增加,且在小应变下,应力增加较快,随应变的增加,偏应力增长的速度减缓,直至达到峰值点而破坏。土样在低围压(10, 20, 30, 40 kPa)时应力峰值点对应的剪应变在 7%~10%,高围压(100, 200 kPa)时应力峰值点对应的剪应变在 10%~11%。试验表明围压越低,偏应力峰值越小,达到峰值时对应的剪应变越小,这种性质与密砂很接近^[4]。

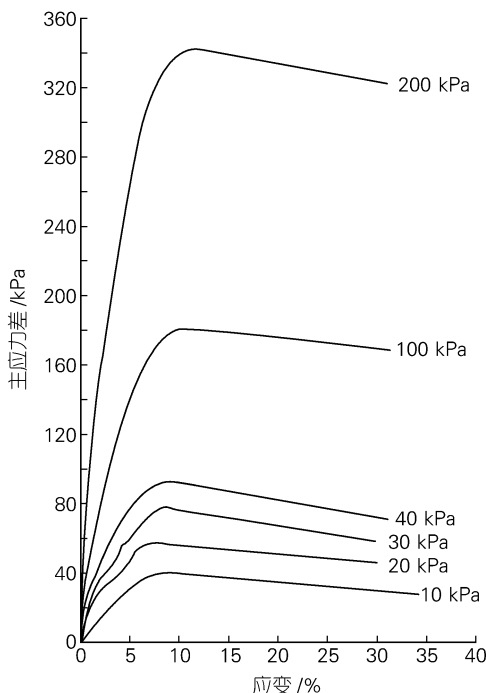


图 1 不同围压下土样的应力-应变曲线

Fig. 1 The stress-strain curves of silt

2.2.2 试样的黏聚力,内摩擦角值计算

土样的内聚力 c 和内摩擦角 φ 值可采用以下两种方法来计算。

2.2.2.1 应力摩尔圆法

摩尔圆法是通常采用的方法,根据试验破坏时的极限应力摩尔圆作强度包线,即试样的抗剪强度曲线,此摩尔圆的包线与纵坐标的截距和倾角,就是所求试样的 c, φ 值。

2.2.2.2 应力路径法

如果应力摩尔圆强度包线不易准确画出,可按应力路径法计算 c, φ 值。表示应力路径的坐标以 $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ 为横坐标, $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ 为纵坐标, σ_1, σ_3 分别为土样在受荷过程中的大小主应力,然后连接应力路径曲线的终点作直线,该直线表示的是土样在极限状态时不同应力圆顶点的连线。根据直线在纵坐标上的截距 d 和倾角 λ ,按下列公式计算 c, φ 值:

$$\varphi = \arcsin \tan \lambda$$

$$c = d / \cos \varphi$$

对于低围压下的土样,采用了两种方法计算 c, φ 值。通过计算机数据采集和处理系统对试验结果进行计算,即应力摩尔圆法,得到土样的 $c=5.20$ kPa, $\varphi=27.74^\circ$ 。同时采用了应力路径法求其 c, φ 值,根据

试验数据,画出应力路径曲线,如图2所示,得到 $d=5.823 \text{ kPa}$, $\tan\lambda=0.47$,再根据上面的公式计算出 $\varphi=28^\circ$, $c=6.59 \text{ kPa}$,由此可以看出两种方法求出的 c , φ 值基本吻合。

对高围压下的土样,采用应力路径法得到 $d=11.429 \text{ kPa}$, $\tan\lambda=0.429$,由公式可得 $\varphi=25.4^\circ$, $c=12.6 \text{ kPa}$ 。

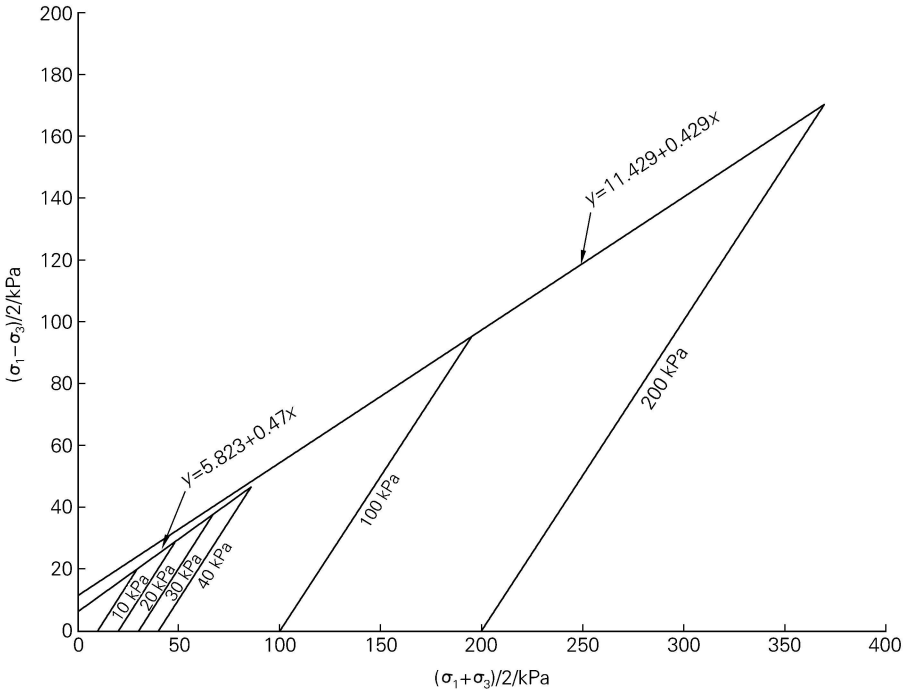


图2 不同围压下的应力路径曲线

Fig. 2 The stress paths of silt under different confining pressures

3 结论与讨论

作者对粉土在低围压下的剪切特性进行了试验研究,得到以下结论:(1) 比较粉土在低围压和普通围压下的剪切特性,从试验的结果可以看到,粉土在低围压下的应力-应变曲线和其在普通围压的总体趋势基本一致,即试样在未破坏前,其应力随应变一起增加,且在小应变下,应力增加较快,直至达到峰值而破坏。土样在低围压时应力峰值点对应的剪应变小于10%,高围压时应力峰值点对应的剪应变在10%~11%,表明围压越低,偏应力峰值越小,达到峰值时对应的剪应变越小。(2) 在低围压下,采用应力路径法和应力摩尔圆计算 c , φ 值,二者有较好的吻合性。计算结果表明,不同围压下粉土的抗剪强度是有差别的,低围压下土的内摩擦角要大于高围压下的内

摩擦角。因此在今后的工程实际及模型试验中应重视不同应力水平下粉土的设计参数的合理选取。

试验过程中,也发现一些问题,例如粉土的制样技术、橡皮膜对土样受力的影响等,这些在今后的工作中应进一步的改进,以期获得更精确的试验结果。

参考文献:

- [1] 冯秀丽. 海洋水力条件下粉土响应模型 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2000.
- [2] 杨少丽, Rolf S, 林霖, 等. 改进的室内粉土制样技术 [J]. 岩土工程学报, 2000, 22(3): 379-380.
- [3] GB/T50123-1999. 土工试验方法标准 [S].
- [4] Yang Shaoli, Sandven R, Feng Xiuli, et al. Drained behavior of sand under low confining pressure [J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(3): 441-447.

Laboratory investigation on shear properties of silt under low confining pressure

ZHANG Wei¹, LIN Lin², FENG Xiurli², DONG Pan¹

(1. Department of Civil Engineering, Qingdao Institute of Architecture & Engineering, Qingdao 266033, China; 2. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: May, 19, 2006

Key words: silt; low confining pressure; stress-strain curve; shear strength

Abstract: The shear properties of silt in Chengdao's sea area under different confining pressures were studied through triaxial compression test. The test results demonstrate that the trend of the stress-strain curves of silt under low and high stress levels are similar, but the shear strength parameters are different under different confining pressures.

(本文编辑: 刘珊珊)