

文章编号: 1001-1986(2007) 03-0046-03

粘土的杨氏模量试验研究

李建中, 何 盛, 徐力生

(中南大学地学与环境工程学院勘查与基础工程研究所, 湖南 长沙 410083)

摘要: 三轴试验被应用于评定未扰动和重塑 Kitan 粘土的弹性性质。Kitan 粘土的杨氏模量分别在最初加载、蠕变后, 小的周期加载和滞回圈时测定。为了测定在应变小于 0.01% 时的准确性, 试验采用局部位移测量传感器(LDT)。试验结果显示: 在相同应力水平条件下, 未扰动 Kitan 粘土的杨氏模量大于重塑土; 对于同一种粘土, 在应变率大的情况下, 它的杨氏模量同样大; 在应变小于 0.01% 时, 未扰动 Kitan 粘土呈线弹性。

关键词: 杨氏模量; 应变率; 应力水平
中图分类号: TU432 文献标识码: A

Experimental research on Young Modulus of clay

LI Jian-zhong, HE Sheng, XU Li-sheng

(College of Geoscience and Environment Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Triaxial compression tests were performed on undisturbed and reconstituted Kitan clay to investigate elastic property of clay. Young Modulus of Kitan clay was measured during initial loading, after creep deformation, within small cyclic loading and global unloading-reloading. In order to measured strain smaller than 0.01% accurately, local displacement transducer (LDT) was used during the tests. The test results showed that: Young Modulus of undisturbed Kitan clay is much bigger than that of reconstituted one under the same stress level; Young Modulus of the same clay under high strain rate is bigger than that of small strain rate; Undisturbed Kitan clay showed perfect linear elastic property within small strain (smaller than 0.01%).

Key words: Young Modulus; strain rate; stress level

收稿日期: 2006-10-08
作者简介: 李建中(1966—), 男, 湖南岳阳人, 博士, 教授, 从事土力学和岩土工程方面的教学科研工作。

表 2 地应力大小和方位

Table 2 Magnitude and orientation of geo-stresses

	σ_H/MPa	σ_h/MPa	$\sigma_{\text{自}}/\text{MPa}$	$\theta/(^\circ)$
纵向裂隙	12.28 ± 2.5	8.465 ± 2	10.04 ± 2.3	115 ± 2
横向裂隙	13.56 ± 2.4	7.624 ± 1.8	9.4 ± 2.1	112 ± 2.8

5 结论

- a. 通过对水压致裂法形成的钻孔印模分析, 提出用 Taylor 公式和最小二乘法迭代算法, 计算纵向和横向裂痕岩体地应力大小及其误差。首先确定大地、裂隙和钻孔坐标系, 根据印模曲线确定裂隙方位; 然后用最小二乘法迭代算法, 算出应力分量; 最后算出主应力大小及其误差。
- b. 根据推导的计算方法, 结合 ZK6 钻孔实测数据, 对雪峰山隧址区应力场计算, 得出最大水平应力在 13 MPa, 方位 113°左右, 这与地质勘察结果基本吻合, 说明方法的实用价值。

在研究中得到王兰生教授、张志龙博士、王跃飞主任工程师、黄辉高级工程师、蒋成海高级工程师等

的指导和帮助, 在此表示感谢。

参考文献

[1] 陈群策, 毛吉震, 侯硯和, 等. 原生裂隙对水压致裂应力测量结果的影响[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(3): 279—282.
[2] 孙宗颢, 张景和. 地应力在地质断层构造发生前后的变化[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(23): 3964—3969.
[3] 尤明庆. 水压致裂法测量地应力方法的研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(3): 350—353.
[4] ASK D. New developments in the Integrated Stress Determination Method and their application to rock stress data at the Aspö HRL, Sweden[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2006, 43: 107—126.
[5] 刘允芳. 在单钻孔中水压致裂法的三维地应力测量[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(2): 192—196.
[6] 王建军. 应用水压致裂法测量三维地应力的几个问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 19(2): 229—233.
[7] HAYASHI K, SATO A, ITO T. In situ stress measurements by hydraulic fracturing for a rock mass of weakness with many planes[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 1997, 34(1): 45—58.
[8] 成都理工大学. 邵阳至怀化高速公路雪峰山隧道详细工程地质勘察说明书[R]. 2004.

随着土力学研究的不断深入, 研究人员提出了各种不同的土本构方程^[1-3]。这些本构方程虽然在某种程度上使人们对土的力学性能的认识有进一步提高, 但是, 大多数本构方程目前还很难得到普遍的接受。而且, 因为它们的复杂性, 一般比较难以测得相应的力学参数, 因而也难以在普通的岩土工程设计与施工中广泛应用。在我国, 现行的与土力学相关的岩土工程规范中, 关于土的本构方程选用与本构参数的测定, 还多是将土看成是弹性的, 只是利用土体的弹性参数对具体的岩土工程问题进行设计计算。这是因为: 一方面, 弹性模型简单, 弹性参数很容易使用常规的试验手段测定; 另一方面, 更重要的是, 采用弹性理论能够较好地解决常见的岩土工程问题。所以, 针对土的弹性模量的研究一直是土力学和岩土工程的重要研究课题。

本文主要是对未扰动粘土和重塑粘土在三轴试验的条件下得到的数据进行非线性弹性分析, 从而得到了一些弹性模量特性。

1 试验方法

Kitan 粘土的未扰动样(颗粒密度 $G_s=2.69$ 、液限 $W_L=31.9\%$ 、塑限 $W_p=10.3\%$)是采用薄壁取样管在日本大阪海湾采取。Kitan 粘土的重塑试样都是采用在各自的土粉加入其液限含水量 2 倍的水搅拌均匀成的粘土浆, 并在未扰动土取样的地层应力 (340 kPa) 的条件下, 用直径为 55 mm 的单向固结装置排水固结 7 d 左右得到。

三轴试验仪器是计算机程序控制的应变式三轴仪, 其中的压力腔及相关部件如图 1 所示。图中的 LDT(Local Displacement Transducer)是用来直接测量土样变形量的传感器。由于三轴仪采用了(位于压力腔内)内置式压力传感器以及 LDT, 所以在试验过程中可以很精确地测量压力与位移。体积应变是通过试样排水量测量的结果计算得到。试样尺寸(直径×高度)为 50 mm×100 mm。除采用常规的试样上下端滤纸、透水石排水外, 还在试样周围放置滤纸条以增加排水速度。其应力路径见图 2。

2 试验结果与分析

图 3 为两种 Kitan 粘土样在三轴试验中的应力—应变曲线(A、B 分别表示两种应力水平条件)。

由图 3 可以看出:

a. 对于同一种 Kitan 粘土样, 未扰动的土的强度总是比重塑土的强度要大。无论是未扰动还是重塑土随着应力水平的增加, 土样的强度和刚度都明

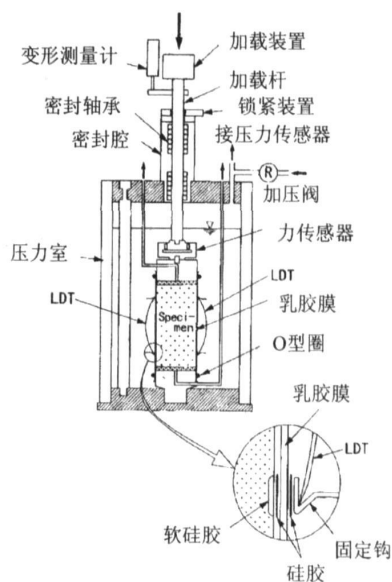


图 1 三轴仪压力腔与 LDT 结构示意图

Fig. 1 Frame of pressure cell and LDT

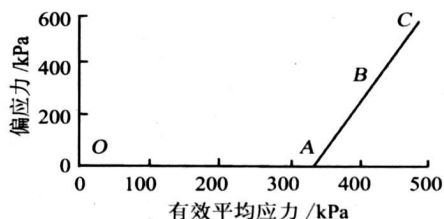


图 2 三轴试验应力路径

Fig. 2 Stress path

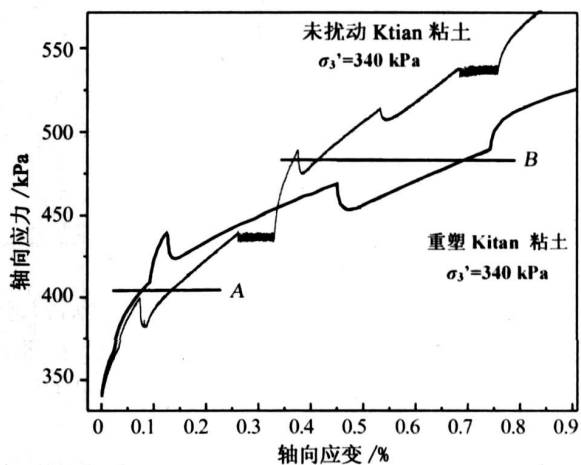


图 3 两种 Kitan 粘土样在两种应力水平条件下的应力—应变曲线

Fig. 3 Stress—strain curves of two Kitan clay samples under two stress levels

显提高, 并没有出现剪胀现象。

b. 在初始加载阶段, 每次蠕变后继续加载, 应力—应变曲线斜率都明显增大, 即弹性模量增大。但是这部分增大只是在蠕变后继续加载开始的一小

段邻域内,具体可以参考《粘土的蠕变特性试验研究》一文。

c. 通过图 3 结合计算出来的数据可以看出,加载初期,在应力水平条件 A 的情况下,未扰动土的弹性模量 $E_{A未}=34.1038\text{ MPa}$,而重塑土的弹性模量 $E_{A重}=30.3082\text{ MPa}$ 。在出现蠕变后的强化阶段, B 点时, $E_{B未}=25.6394\text{ MPa}$, $E_{B重}=13.3357\text{ MPa}$ 。由此可以看出,未扰动土弹性模量比重塑土的弹性模量要大(本文计算的弹性模量为切线模量)。

图 4、表 1 为未扰动 Kitan 粘土三轴试验中的应力应变曲线图和应变率与弹性模量数值表。

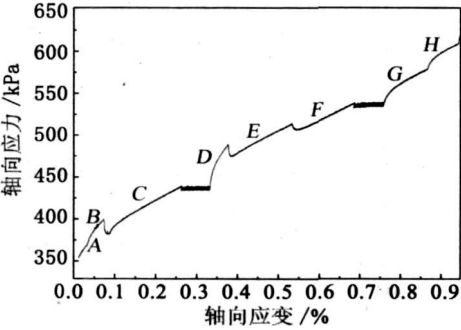


图 4 未扰动 Kitan 粘土应力—应变曲线
Fig. 4 Stress—strain curve of undisturbed Kitan clay

表 1 未扰动土应变率与杨氏模量

Table 1 The strain and Young Modulus of undisturbed Kitan clay

	应变率/ $10^{-4}\cdot\text{min}^{-1}$	切线模量/MPa	割线模量/MPa
A	4.412	64.615	94.032
B	1.242	56.033	71.683
C	0.068	25.539	28.396
D	4.834	71.955	115.726
E	0.067	23.643	26.680
F	0.064	23.079	22.730
G	0.069	26.041	35.190
H	0.242	27.116	38.592

由图 4 和表 1 可以看出:

a. 当未扰动 Kitan 粘土土样经过蠕变后,其弹性模量有了提高,特别是经过第一次蠕变后 D 段的切线模量和割线模量都比初始加载的第一段 A 邻域内的弹性模量有所提高。

b. 对表 1 进行分析可以看出:当应变率增大的情况下,土样的切线模量和割线模量都同时增大,与前人提出的结论基本一致。

图 5 为未扰动 Kitan 粘土应变小于 0.01% 的应力—应变曲线。

由于土是由碎散的固体颗粒组成,土的宏观变

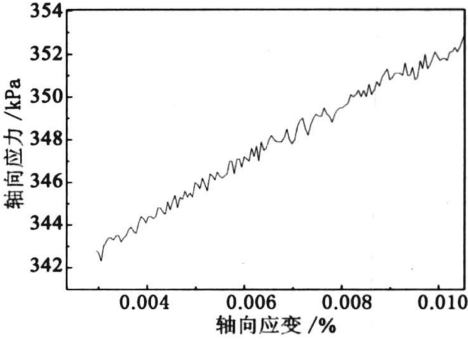


图 5 未扰动 Kitan 粘土应变小于 0.01% 时的应力—应变曲线
Fig. 5 Stress—strain curve of undisturbed Kitan clay as strain smaller than 0.01%

形主要不是由于土颗粒本身变形,而是由于颗粒间位置的变化。这样在不同应力水平条件下由相同应力增量而引起的应变增量就不会相同,即表现出非线性^[4]。但通过对图 5 未扰动 Kitan 粘土的应变小于 0.01% 时的应力—应变曲线图进行分析,可以发现应力应变在应变小于 0.01% 时为线性关系。即在初始加载的第一个应变小于 0.01% 邻域内,未扰动 Kitan 粘土呈线弹性的关系。

3 结论

根据以上对未扰动 Kitan 粘土和重塑土进行的三轴试验所得到的试验数据的分析,可得到以下结论:

- a. 在相同的应力水平条件下,未扰动 Kitan 粘土的杨氏模量大于重塑土的杨氏模量。
- b. 在未扰动土中,应变率越大的情况,它的杨氏模量同样也越大,与前人的结论基本一致。
- c. 在应变小于 0.01% 的情况下,其应力应变呈直线,即应力应变呈线弹性关系。

参考文献

[1] 廖雄华. 土体非线性弹性—塑性本构模型[J]. 岩土力学, 2002 (1): 41—45.
[2] MATSUI T, ABE N. Elasto—viscoplastic constitutive equation of normally consolidated clays based on flow surface theory[C] //International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, 1985, 5(1): 407—413.
[3] LEROUILS, PERRET D, LOCAT J. Strain rate and structuring effects on the compressibility of a young clay[C] // Measuring and Modelling Time Dependent Soil Behavior, ASCE Geotech. Special Publication, 1996, 1(61): 137—150.
[4] 李广信. 高等土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.