

霍尔效应传感器在土工试验中的应用

The application of Hall Effect transducer in triaxial experiment

张鲁渝, 孙树国, 郑颖人
(后勤工程学院 军事土木工程系, 重庆 400041)

关键词: 霍尔效应; 本构模型; 三轴试验; 局部变形

中图分类号: TU 441; U 416.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2004)05-0706-03

作者简介: 张鲁渝(1974-), 男, 博士研究生, 从事岩体本构及边坡稳定分析方面的研究。

0 前言*

常规三轴仪已在业界广为应用, 但并不完美, 其误差可分为: 设备柔性误差、端部约束误差及基座误差, 见图1。国内外就如何提高三轴仪的测量精度开展了一系列研究, 如 Roscoe^[1]、Lo, Chu^[2,3]、王洪瑾^[4]及其同事通过误差率定和改进试验手段来减少橡皮膜的顺变误差, Sarsby 等^[5]对端部约束误差的机理进行了研究。然而以上方法会受到各种随机因素的影响, 故很难精确地修正这些误差。可靠的方法是采用有效的试验手段来消除或减弱这些误差, 如 Clayton 等^[6,7]建议将测量装置由压力室外部移至内部, 且只测量试样中部三分之一区域的变形(局部变形)。为验证 Clayton 法的实际效果, 笔者采用 GDS 标准应力路径三轴仪及霍尔效应传感器, 对试样在剪切过程中的局部应变进行了测量, 并得到一些常规三轴仪观测不到的结果。

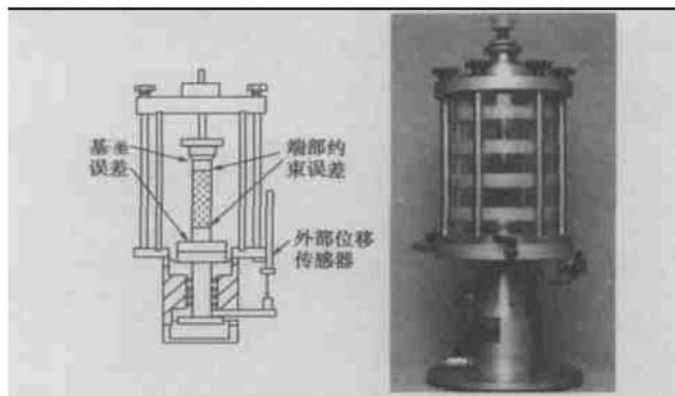


图1 GDS 应力路径三轴仪

Fig. 1 GDS stress path triaxial instrument

1 测量局部应变的必要性

要提高试验的测量精度, 有必要对误差来源进行分析。常规三轴仪的基本原理如下

$$A_{\text{specimen}} = \frac{\pi \times (D_0/2)^2 \times H_0 + V_{\text{change}}}{H_0 - H_{\text{change}}}, \quad (1)$$

$$D_{\text{change}} = 2 \sqrt{A_{\text{specimen}}/\pi} - D_0, \quad (2)$$

$$\varepsilon_r = \frac{D_{\text{change}}}{D_0} \times 100, \quad \varepsilon_d = \frac{H_{\text{change}}}{H_0} \times 100. \quad (3)$$

A_{specimen} 为试样当前横截面积(mm^2); V_{change} 为试样体积变化(mm^3), 压缩为负, H_{change} 为试样高度变化(mm); H_0 为试样初始高度(mm); D_0 为试样初始直径(mm); D_{change} 试样直径的变化(mm); ε_r 为试样的径向应变(%); ε_d 为试样的轴向应变(%). 由式(1)~(3)可知, 应变误差受试样高度变化 H_{change} 及体积变化 V_{change} 的影响。由式(3)可知, 轴向应变 ε_d 的误差只与 H_{change} 有关, 而径向误差 ε_r 则与 H_{change} 和 V_{change} 均有关, 在不排水试验中, V_{change} 的误差还会影响孔隙水压力的测量精度。

1.1 设备柔性误差

常规三轴仪通常利用压力室外部的装置测量试样的 H_{change} , 如图1, 此时测得的 H_{change} 包括试样轴向变形、透水石、滤纸及加载帽等部件的变形, 增大设备刚度可在较大程度上消除此类误差。 V_{change} 的测量误差不仅与设备刚度有关, 还与橡皮膜的顺变性即嵌入误差有关(施加围压后橡皮膜楔入试样表面颗粒的空隙中)。当试样发生小变形时, 设备柔性误差对精度的影响较为明显, 这也是大多数三轴仪测得的土体刚度小于现场试验所测刚度的原因。

1.2 端部约束误差

三轴试样与仪器接触的表面存在摩擦, 摩擦使试样端部受到来自横向和竖向的约束, 从而导致试样变形不均匀。试样轴向和径向变形呈梯度分布: 端部变形为零, 中部变形最大。对于高宽比为2左右的试样, 试样中部1/3的区域受端部约束的影响较小, 如果将它作为测量区域, 理论上可得到更精确的应变结果。

1.3 基座误差

试样的轴向变形 H_{change} 一般通过试样上、下端的相对运动来体现, 然而这样会引入基座误差。这种误差来源于试样基座与加载帽不完全平行, 或它们并不

是理论上的平面。因为加载帽、试样、承样基座三者很难完全对中,所以加载过程中可能会出现偏心,在三者轴线完全重合之前,试样变形会发展得很快。

综上所述, 如将位移量装置移到压力室内部, 并将它们装在试样上, 便可直接量测 H_{change} 及 D_{change} , 这样不但能够有效消除仪器柔性误差, 且因 D_{change} 不再与 V_{change} 相关, 还可有效消除橡皮膜的顺变误差; 再者, 将测量区域选在试样中部三分之一处, 可有效减少端部约束误差及基座误差。对测量装置的要求: ①为不增加额外的不可忽略的荷载, 装置要足够轻; ②装置本身要防水且不可压缩。

2 霍尔效应传感器的原理及构造

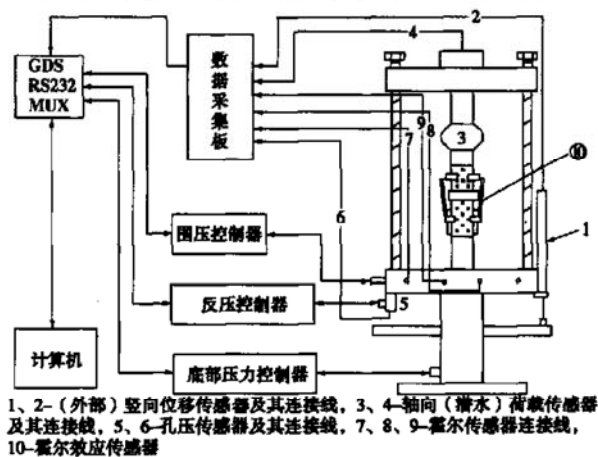


图 2 GDS 数据采集系统

Fig. 2 The data collection system

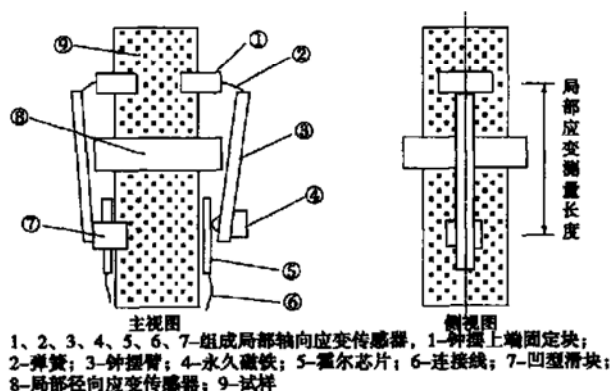


图3 霍尔效应传感器

Fig. 3 Hall effect sensor

后勤工程学院于 2000 年从英国引进 GDS 标准应力路径三轴仪,其中包括测量局部应变的霍尔效应传感器。霍尔效应传感器包括二个轴向应变传感器和一个径向应变传感器(见图 3),它具有轻便(三个传感器共重约 65 g)、精度高等优点。霍尔效应并不是待测土工试样固有的特性,而是美国物理学家 E. H. 霍尔于 1879 年进行铜箔实验时发现的电磁感应现象^[8],霍尔

效应传感器只是利用霍尔效应来测量微小距离的变化。GDS 附带的软件系统对霍尔效应传感器的数据采集提供了全面支持,采集系统如图 2 所示。

3 霍尔效应传感器的安装

3.1 传感器的率定

第一次使用传感器时需进行率定, 要根据厂家提供的数据进行^[9]。如图 4 所示, 还需安装与压力室同径的钢环, 钢环上有小孔, 用于引出数据线。



图4 安装就位的霍尔效应传感器

Fig. 4 The installed Hall effect sensor

3.2 传感器的安装

首先应在试样橡皮膜上标注各传感器的位置, 径向传感器位于试样中部, 两个轴向传感器对称于试样两边, 且位于试样中部 $1/3$ 处。

先安装径向传感器,这是因为它处于轴向传感器的内侧。轴向应变传感器与径向应变传感器的间隙应预留足够大,以保证试样变形时两者不会接触。每一个轴向传感器对应一个凹型滑块,它有二个作用:一是定位,即试样变形时保持传感器竖直滑动,二是标定局部应变测量长度,如图3所示。

3.3 注意事项

每个传感器上都附有小钢针,可将它插入试样中(橡皮膜被刺破)以固定传感器,橡皮膜刺破后的防水是个较难解决的问题。市售防水胶一般粘性较弱,试样变形时很容易撕裂,导致橡皮膜漏水,试验失败。鉴于上述原因,笔者放弃钢针固定,而采用如下措施:



图5 粘结面涂胶构造

Fig. 5 The gelatinizing structure in felted face

为将传感器粘于橡皮膜上,可选取粘结力较强的双面胶(很薄)及 502 胶作为粘结剂,按图 5 所示涂胶。双面胶用于快速固定,502 胶可增加粘结面的强度。因为这两种胶都没有防水性,为此需在粘结面周围涂一层防水胶,它们只起密封作用,而不承受变形拉力。

为避免由于试样变形导致霍尔传感器错位,如图 6,还需套上弹性较弱的橡皮筋。

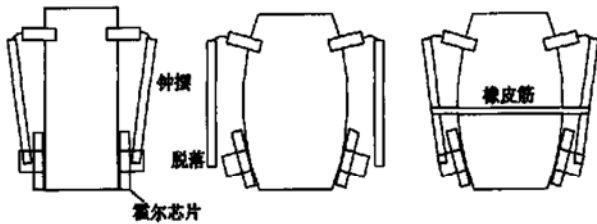


图 6 套置橡皮筋的位置
Fig. 6 The position of the rubber belt

4 普通三轴试验

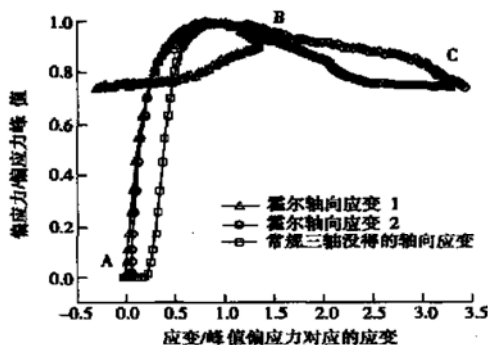


图 7 应力—应变全曲线(无量纲化)
Fig. 7 The stress—strain curve (dimensionless)

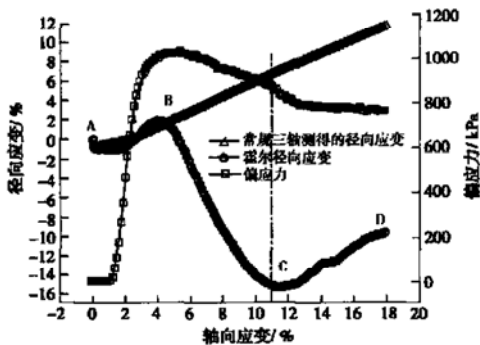


图 8 轴向应变—径向应变曲线
Fig. 8 Axial strain-radial strain curve

4.1 试验步骤

①按常规方法装试样; ②压力室就位前, 安装霍尔传感器, 并标定局部轴向应变传感器的测量长度, 作为计算局部轴向应变的初始长度; ③压力室就位并调零; ④常规三轴剪切试验; ⑤试验数据整理。

表 1 试样初始参数

Table 1 The parameters of test sample

高度 /mm	直径 /mm	孔隙比	干密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	剪切速率 /($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)
77.7	38.5	0.571	1.693	0.05

4.2 数据分析

笔者利用上述装置对福建标准砂进行了 CTC 试验, 文中仅提供围压为 300 kPa 的试验结果。标准砂参数见表 1, 局部应变按式(3)计算, 此时 H_0 为局部应

变测量长度, 两个轴向应变需取平均。

4.3 试验结果分析

试验曲线如图 7, 8。由于采用霍尔效应传感器测得的位移有效地消除或减少了前述各类误差, 因此用它测得的应变比常规方法测得的应变小, 反映在应力—应变全曲线上(见图 7)便是前者(不包括软化段)略高于后者。由图 7 还可知, 峰值前试样两侧轴向应变相差不多, 均略比平均应变(常规方法测得)大, 而峰值后, 一侧局部应变继续增大, 与平均应变相近, 另一侧局部应变则卸载回弹, 这说明试样在加载后期出现偏心, 这是常规仪器无法观察到的现象。

由图 8 可知, 在应变空间中, 平均径向应变路径呈直线, 而局部(试样中部)径向应变路径呈复杂曲线, 如曲线, 转折点说明试样完全破坏, 试样已经形成了一条贯通裂缝, 且裂缝处出现卸载, 如果此时仍然加载(轴向位移增加), 则必然使试样再次出现压缩。

5 结 论

(1) 采用霍尔传感器测得的位移可有效地消除或减少了基座误差、端部约束误差和仪器柔性误差。

(2) 利用霍尔传感器可测得试样在加载后期可能出现的偏心(CTC), 此现象常规三轴仪无法观测。

参考文献:

- [1] Roscoe K H, Schofield A N, Thurairajah A. An Evaluation of test data for selecting a yielding criterion for soils[J]. Laboratory Shear Testing of Soils, 1963, STP301, 111–128.
- [2] Lo S- C R, Chu J, Lee I K. A Technique for Reducing Membrane Penetration and Bedding Errors[J]. Geotechnical Testing journal, ASTM, 1989, 12: 311–316.
- [3] 楚 剑, 许镇鸿. 应变路径试验方法及其在应变软化研究中的应用[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(5): 46–51.
- [4] 王洪瑾. 三轴试验中橡皮膜顺变性对体积变化和孔隙水压力的影响[J]. 岩土工程学报, 1985, 7(1): 76–84.
- [5] Sarsby R W, Kaltefleiter N, Haddad E H. Bedding Error in Triaxial Tests on Granular Media[J]. Geotechnique, 1980, 30: 302–309.
- [6] Clayton C R I, Khatri S A. A new device for measuring local axial strains on triaxial specimens[J]. Geotechnique, 1986, 36(4): 593–597.
- [7] Jardine R J, Symes N J, Burland J B. The measurement of soil stiffness in the triaxial apparatus[J]. Geotechnique, 1984, 34(3): 323–340.
- [8] 王少杰, 华金龙, 冯伟国. 大学物理学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1996. 405–407.
- [9] The GDS user handbook.