

土工三轴试验试样全表面变形测量的实现

邵龙潭¹, 刘潇¹, 郭晓霞¹, 黄川², 鞠鹏³, 杨松^{4,5}, 薛杰¹

(1. 大连理工大学工业装备结构分析国家重点实验室, 辽宁 大连 116024; 2. 武汉工业学院计算机系, 湖北 武汉 430022; 3. 山东诚基工程建设有限公司, 山东 青岛 266100; 4. 大连理工大学电子信息与电气工程学部, 辽宁 大连 116024; 5. 大连海洋大学信息工程学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 应用基于亚像素角点识别的计算机图像处理技术, 提出并实现了一种土工三轴试验试样全表面变形观测的图像测量方法。通过一台 CMOS 摄像机, 借助放置于改制压力室中的平面反光镜, 实现了对试样全表面变形的实时测量。在此基础上, 对原始数据进行了畸变修正及像素当量归一化, 并通过引入相邻时间间隔每个计算邻域内试样等向膨胀的计算假定, 求得了试样全表面变形场。最后, 以饱和砂土三轴排水剪切试验为例, 探讨了全表面变形场在分析试样局部化变形中的应用。

关键词: 三轴试验; 图像处理技术; 全表面应变场; 畸变修正

中图分类号: TU41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2012)03-0409-07

作者简介: 邵龙潭(1963-), 男, 吉林梨树人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事岩土力学测试技术与设备、水土保持、岩土工程灾害与防治方面的研究工作。E-mail: shaolt@dlut.edu.cn。

Whole surface deformation measurement of triaxial soil specimen based on digital image processing

SHAO Long-tan¹, LIU Xiao¹, GUO Xiao-xia¹, HUANG Chuan², JU Peng³, YANG Song^{4,5}, XUE Jie¹

(1. State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Department of Computer Science, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430022, China; 3. Shan Dong C & G Engineering

Construction Co., Ltd., Qingdao 266100, China; 4. Faculty of Electronic Information and Engineering, Dalian University of Technology,

Dalian 116024, China; 5. Department of Information Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: An automatic digital image processing technique is presented for whole-surface measurement of specimens' deformations during triaxial tests. This method incorporates digital imaging techniques and computer-aided analysis to assess the deformation throughout a triaxial test. A detailed description of hardware as well as other equipment is provided. Regulated power supply along with a darkened chamber is adopted to ensure the stability of the lighting environment. Data analysis methodology including distortion correction, pixel equivalent normalization, strain field calculation and data splicing is provided. The calculation of strain is based on the assumption that in each neighborhood of time and space, specimen only deforms along radial. Finally, the advantage of this whole-surface deformation measurement in analyzing deformation localization for triaxial tests is discussed through results obtained from drained triaxial tests on saturated sand.

Key words: triaxial test; digital image processing; whole-surface strain field; distortion correction

0 引 言

长久以来, 局部化变形研究一直是土工试验领域关注的热点问题。图像处理技术, 作为局部化变形研究的有效手段, 近年来越来越多地被应用于土工试验领域^[1-4]。从已发表的成果来看, 大多研究者更关注平面应变试验中的局部化变形研究: 一方面因其具有一定工程代表性, 另一方面因其平面特性更便于研究的开展。数字图像处理技术在土工三轴试验领域的应用相对较少^[5-8]。大连理工大学工业装备结构分析国家重

点实验室环境岩土力学研究室从2000年开始自主研发数字图像处理系统并成功地将其应用于土工三轴试验, 在三轴试样局部化变形特点及剪切带发生发展过程的研究中取得了一系列成果^[8-13]。

在前期试验中发现, 受限于三轴试样的圆柱形状, 局部化变形, 或者说剪切带的观测很大程度上依赖于观测角度, 即从不同角度进行观测, 试验现象会有所

基金项目: 国家 973 计划项目 (2010CB731502)

收稿日期: 2011-03-12

不同。所以在实现了试样部分表面的图像测量后，自然想到试样全表面的变形测量，以便更准确、全面地反映试样局部化变形形态。

本文基于亚像素角点识别的图像处理技术^[10]，提出并实现了一种土工三轴试验试样全表面变形观测的图像测量方法，所做主要工作包括硬件改造和软件编制两部分。硬件方面，改制了传统圆柱形压力室、将照明光源内置、并实现了压力室与摄像机支架的密封；软件方面，实现了镜头畸变修正、像素当量归一化、应变（场）计算、各部分测量数据拼接及最终应变场输出等。

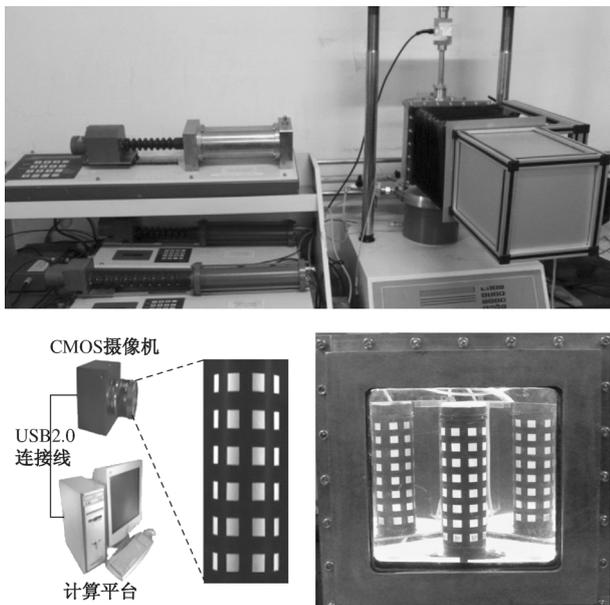


图1 基于数字图像测量方法的三轴试验系统

Fig. 1 Digital image measurement system for tri-axial tests

1 硬件改制

(1) 压力室的改制

试验中发现，常用的圆柱形三轴压力室其曲面外形会给采集的图像带来较大的畸变，故本文决定将正对摄像机的压力室表面改为平面。最初方案与文献[6]类似，即压力室改制成三棱柱形，将3台摄像机对称布置于压力室外，同时拍摄试样变形。在实际操作中发现该方案存在以下问题：3台摄像机会增加成本；有机玻璃及水的透射会影响各摄像机拍摄图像的质量；更主要的是，3台摄像机的拍摄数据很难实现完全同步。最终采用如下方案：压力室设计成异形，主体采用不锈钢，前表面（观测面）装嵌平板钢化玻璃（抗压强度1.6 MPa）；压力室中安装两面反光镜，反光镜通过可随意调节角度的镜架固定于压力室中，并保持与压力室底面的垂直度；试验时，将CMOS摄像机（大恒

-1394UC，分辨率1280×1024；镜头为日本Computar公司生产的16 mm定焦镜头）放置在正对钢化玻璃的表面，同时拍摄试样和反光镜中图像，后期通过数据拼接实现试样整体变形观测。这一方案的核心技术在于：3部分数据拼接的实现以及反光镜反射带来的畸变等误差对测量精度影响的分析。前一点在本文中有详细论述，后一点将另文讨论。

采取这一方案后，对仍存在的由镜头本身及水折射所带来的畸变，采用定标校准的方法来修正。

(2) 照明光源的改进及试验环境的维稳

对于图像测量这一方法而言，照明质量及稳定性会给测量精度带来直接影响。已有文献中图像测量多采用自然光或将照明光源安置在压力室外部^[1-5,7]。笔者在试验中发现，光源外置存在着以下2个缺点：一是外置光源的光线会在有机玻璃表面产生折射和反射，影响图像质量；二是外部光照条件很难保持恒定，任何轻微变化都会影响图像采集质量。

考虑到上述缺点，本文将照明光源安置于压力室内部，测量系统整体配备稳压电源，并将摄像机支架与压力室密封，以此提供稳定的光照条件。

照明光源采用发光二极管(LED)灯箱。所用LED光源是冷光源，工作时产生热量很小，因而在压力室内不会造成大的水体热流动；并且，LED体积小，便于制作成能放置于压力室内部的LED灯箱；此外，LED耐压性能好，对LED进行的压力实验，其在1 MPa水压力下仍能正常工作；更重要的一点是，所选用的LED是散射光源，更容易在压力室腔体内形成均匀光照环境。经反复试验，在压力室上下底面共布置了4个LED灯箱，每个LED灯箱包含30个LED。所用LED工作电压为3 V，3个LED串联为一组，并连接一个25 Ω电阻作为过载保护，后再将10组并联，并用环氧树脂灌封。灯箱用螺栓固定于压力室的上下底面，以方便拆卸。试验时，LED灯箱外接9 V稳压电源。

在试验中发现，外界环境光强变化会对图像采集带来显著影响。图像采集所捕捉的标志点是试样橡皮膜上所印制白色方块的角点。由于黑白之间的界限是一个连续变化的灰度带，在某一稳定的光强下，界限状态固定，而当光强有所变化（哪怕是极微弱变化），黑白的界限也会有所改变（图2）。具体到本试验，当光强变强，白色方格的尺寸会“放大”，反之则“缩小”。前文所述的内置LED光源可在压力室腔体内部提供稳定的光照环境，但实验室外部环境变化仍可能对测量产生影响（如一天中不同时刻光照环境不同，或开

关电灯等)。为完全屏蔽外界环境的影响,在试验时,将摄像机支架和压力室通过可伸缩的柔性密封罩完全密封(这里说的密封是对光线而言),并对整套测量系统配备稳压电源。

采取上述措施后,基本保证整套图像测量系统处于相对稳定的实验环境。

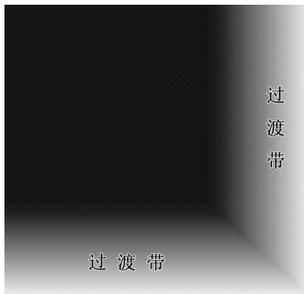


图2 角点临域灰度过渡带示意图

Fig. 2 Image of corner point gray coverage

2 全表面变形测量的实现

图像测量系统最终要测量试样全表面的变形信息,为此,数据处理软件需实现下述功能:对原始图片进行畸变修正;从经畸变修正后的原始投影数据中分别挑选出左、中、右3部分;分别对3部分投影数据进行像素当量归一化及应变(场)计算;将各部分结果拼接;以及最后的应变场输出。

(1) 畸变修正

将圆柱形三轴压力室正对摄像机的观测面改为平面这一措施消除了一部分图像畸变,但摄像机所采用的广角镜头本身所带来畸变仍需修正。畸变修正方法有很多,从原理上可分为基于控制对象的方法和基于模式的方法两大类^[14-15]。

基于控制对象的方法需预先设定控制目标的世界坐标和图形的像素坐标,并建立目标函数,通过最优化目标函数的方法来求解变形系数。这类方法精度较高,但运算量较大。基于模式的校正方法是基于摄像机的成像模型、姿态模型和光学特性来实现图像的非线性畸变校正。此类方法需预先获知相应的模型及模型特性,其在方法上具有一定近似性,但运算过程较简洁。

本文采用标定板标定镜头畸变,属于基于控制对象的畸变修正方法,具体操作如下:

用摄像机拍摄印制在标定板上分布已知的标记点,将拍摄结果与已知分布作对比,通过建立合适的方程并求解参数来确定畸变分布规律。所采用标定板是特质石英标定板(图3),标定板上印有与印制在试

样橡胶膜上的标记分布相同的标记点,放置在与实际试验相同的环境下(相同的物距、光照条件等)。经多次试验发现,相机畸变可采用二次多项式来拟合: $T(r) = ar^2 + br + 1$,其中参数 a 、 b 由处于图像边缘的畸变最大点来求取。修正后,整场畸变可降低到0.2个像素以下。

这里需要强调的是:本套图像测量系统主要用于试样变形过程中应变的计算,即相对量的计算,故而镜头产生的畸变在计算应变时很大程度上会作为系统误差被消除。

(2) 像素当量归一化

除畸变修正外,还需对原始数据进行物距修正,即像素当量归一化。由于试样的圆柱形状,位于试样上不同列处的数据物距各不相同,故像素当量各不相同。在计算应变前,需将各数据进行像素当量归一化。其基本思路是:由试样原始位置及形状确定各不同物距点的像素当量,试样变形后,由各点应变求得物距变化,再确定新的像素当量,依此反复。镜像数据的处理方法与之类似。

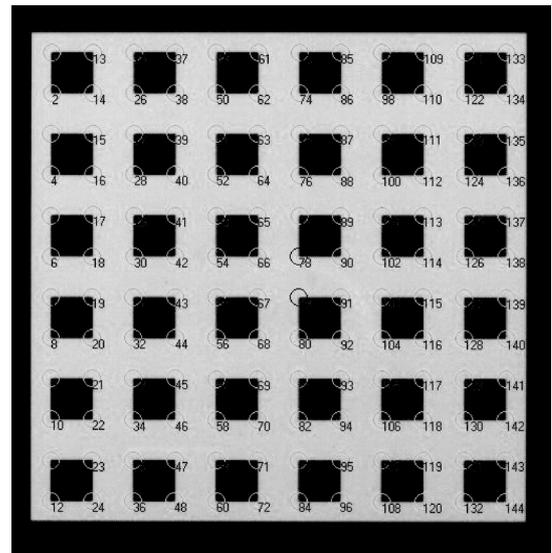


图3 高精度标定板

Fig. 3 Image of distortion target with high precision

首先需要确定各角点间的初始实际距离,在乳胶膜印制标志时统一确定尺度,印制的每个方格标志的边长及间距均为7 mm。由于试验中的物距约为400 mm,与试样直径(39.1 mm)相比已足够大,所以可通过测量试样径向边缘处角点近似地确定出试样的直径,再将所有测量数据全部统一到试样径向边缘角点所对应的物距坐标系中。

设两角点 C_{ij} 和 $C_{(i+1)j}$ 的实际轴向长度为 $l_{(i+1)j}^i$ (单位: mm),对应的试样两侧径向边缘两角点 C_{i1} 和 $C_{(i+1)1}$

以及 C_{im} 和 $C_{(i+1)m}$ 的实际轴向长度为 l_1 和 l_m (单位: mm)。由数字图像测量系统测得的以像素为单位的长度分别为 $y'_{(i+1)j} - y'_{ij}$, $y_{(i+1)l} - y_{il}$ 和 $y_{(i+1)m} - y_{im}$ 。

于是, 可确定出各自物距对应的像素当量 δ

$$\delta_{(i+1)j}^{ij} = \frac{l_{(i+1)j}^{ij}}{y'_{(i+1)j} - y'_{ij}}, \quad (1)$$

$$\delta_{(i+1)l}^{il} = \frac{l_1}{y_{(i+1)l} - y_{il}}, \quad (2)$$

$$\delta_{(i+1)m}^{im} = \frac{l_m}{y_{(i+1)m} - y_{im}}, \quad (3)$$

由于 $\delta_{(i+1)l}^{il}$ 和 $\delta_{(i+1)m}^{im}$ 处于同一物距, 因而该水平区域的像素当量可以确定为

$$\delta_{im} = \frac{\delta_{(i+1)l}^{il} + \delta_{(i+1)m}^{im}}{2}, \quad (4)$$

将该水平区域曲面上的点通过归一化转换到与镜头垂直的试样直径所在物距的二维坐标系中, C_{ij} 和 $C_{(i+1)j}$ 转换后的坐标为

$$\begin{cases} y_{ij} = \frac{\delta_{(i+1)j}^{ij}}{\delta_{im}} y'_{ij}, \\ x_{ij} = \frac{\delta_{(i+1)j}^{ij}}{\delta_{im}} x'_{ij}, \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} y_{(i+1)j} = \frac{\delta_{(i+1)j}^{ij}}{\delta_{im}} y'_{(i+1)j}, \\ x_{(i+1)j} = \frac{\delta_{(i+1)j}^{ij}}{\delta_{im}} x'_{(i+1)j}. \end{cases} \quad (6)$$

图 4 是原始各点和经畸变修正及像素当量归一化后各点位置图。

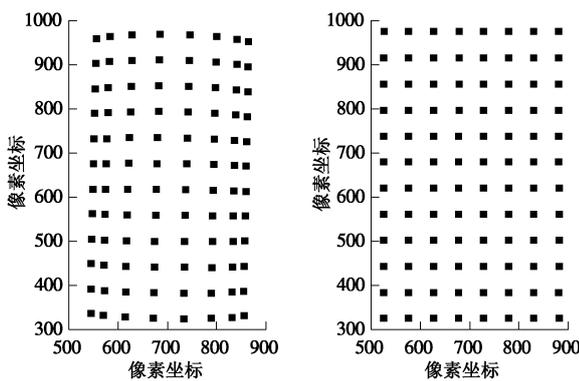


图 4 畸变、物距修正前后数据点位置对比

Fig. 4 Locations of initial corner points and the ones after distortion

(3) 应变(场)计算

在前两步工作的基础上, 进行应变场计算。计算思路如下: 将所有方块标志的角点作为四节点等参元的角点, 用有限元插值求得试样表面任意位置的坐标, 再依据已算得的各角点应变差值求得试样全表面的应

变场。在计算试样的径向应变时, 引入如下假定: 假定每两个相邻的时间间隔内, 在每个角点的计算临域内试样沿径向等向膨胀。由于试样变形具有连续性, 在每个时间、空间临域做这样假定是可以接受的。

具体计算过程如下: 在投影平面坐标系中, x 方向定义为 $w_i = Z_i - Z_i^0$ 环向, z 方向定义为轴向, 利用有限元四节点等参元进行分析。标志块角点即为单元节点, 应用有限单元法, 面内任意点的坐标可以通过插值得到

$$x = \sum_{i=1}^4 N_i X_i, \quad (7)$$

$$z = \sum_{i=1}^4 N_i Z_i, \quad (8)$$

式中, X_i, Z_i 为节点坐标, N_i 为形函数。

设 X_i^0, Z_i^0 为初始构型的节点坐标, 则比较与初始构型图像坐标可得各节点位移

$$u_i = X_i - X_i^0, \quad (9)$$

$$w_i = Z_i - Z_i^0. \quad (10)$$

面内任一点位移

$$u = \sum_{i=1}^4 N_i u_i, \quad (11)$$

$$w = \sum_{i=1}^4 N_i w_i, \quad (12)$$

式中, u_i, w_i 为节点位移。

应变场为

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \{B\} \begin{Bmatrix} u_i \\ w_i \end{Bmatrix}, \quad (13)$$

式中, ε_x 为试样环向应变, ε_z 为试样轴向应变, γ_{xz} 为剪应变, B 为几何矩阵。

(4) 数据拼接

由于反光镜的采用, 试样整体变形数据由 3 部分组成, 即正对摄像机的前表面数据及两侧镜像数据。为得到连续的试样全表面变形信息, 3 部分数据需进行拼接, 拼接的依据是每两组数据的重叠部分(两列, 共计 24 个角点, 见图 5)。拼接前, 各组数据分别进行畸变修正和像素当量归一化, 两组镜像数据需分别进行一次镜像处理, 已恢复本来的数据排列。

$$x_i = X - x_0. \quad (14)$$

由于重叠点有多个(每两面 24 个), 在数据拼接过程中, 无法保证重叠部分所有数据点都完美重合, 故需采用最优化方法求解, 即求得各点误差的加权平均值, 并使其最小。最终拼接完后相当于对试样全表面进行展开。拼接后各角点示例见图 6。

至此, 完成图像拼接工作。最终试样全表面应变场输出是通过图形处理软件完成的。

表 1 试验土体基本参数

Table 1 Basic parameters of soil tested

土体种类	G_s	e_{min}	e_{max}	$\rho_s/(g \cdot cm^{-3})$	C_u	C_c
粉煤灰	2.38	0.792	1.286	1.167	5.5	1.3
颗粒组成/%						
60~20 mm	20~5 mm	5~2 mm	2~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.075 mm	0.075~0.005 mm
—	0.86	1.08	0.31	5.80	42.88	46.69
<0.005 mm						
—						

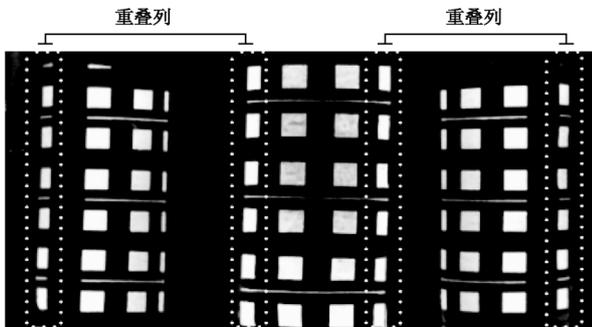


图 5 重叠点示意图

Fig. 5 Schematic diagram of overlapping points

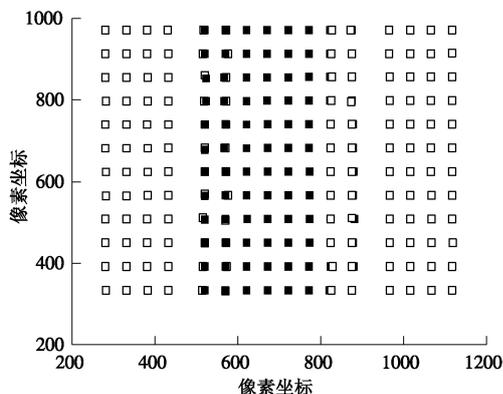


图 6 拼接后的角点

Fig. 6 Corner points after splicing

清晰分辨出发生不均匀变形区域的准确位置。当试样最终破坏时, 从试样变形图片及对应的应变场图 (图 8 (c)) 均可清晰看到试样破坏形态及最终剪切带的完全形成。由上例可见, 全表面应变场的实现, 有助于试样局部化变形过程的分析。更多关于全表面应变场的应用及三轴试验局部化变形的研究笔者将另文论述。

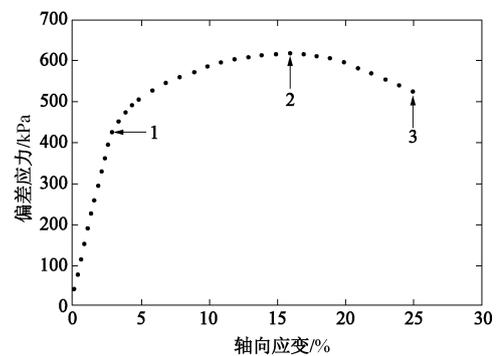
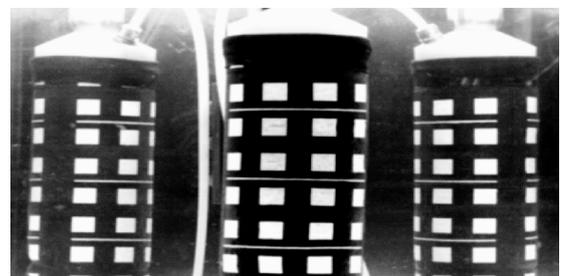


图 7 饱和砂土偏差应力 - 应变曲线

Fig. 7 Deviatoric stress-strain curve of saturated sand

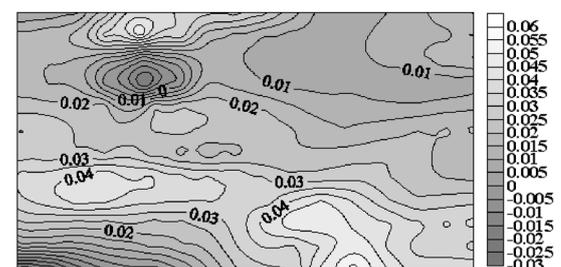
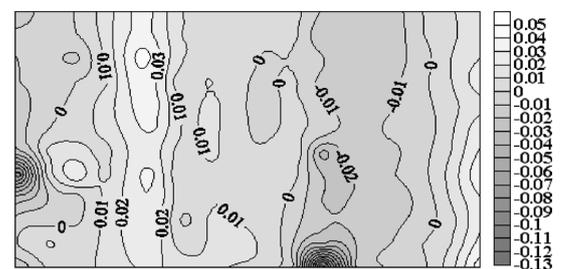


3 应用初探

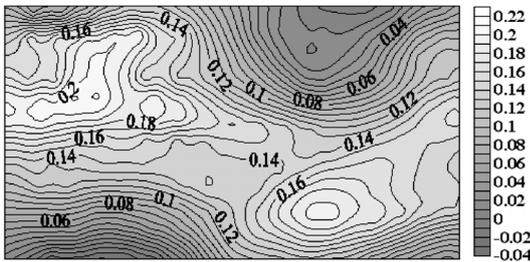
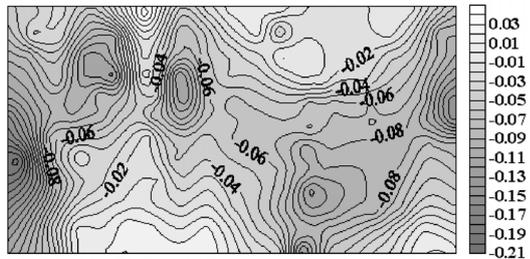
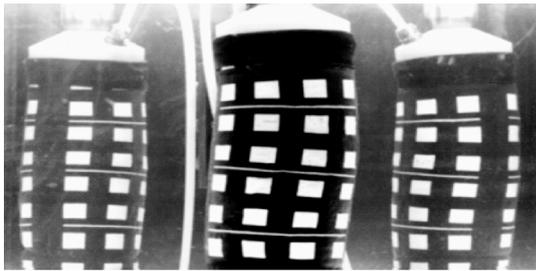
试样全表面变形测量的实现, 为土工三轴试验提供了一个很好的研究工具。下面以一组饱和砂土三轴排水剪切试验为例, 讨论全表面应变场在研究试样局部变形中的应用。所用土为某电厂粉煤灰, 属粉质砂土。基本参数如表 1 所示。

图 7 为偏差应力 - 应变关系曲线, 图中点 1, 2 和 3 分别对应达到峰值应力前、峰值应力处和残余应力状态的时刻。图 8 为各时刻试样变形图片和相对应的轴向应变场图。

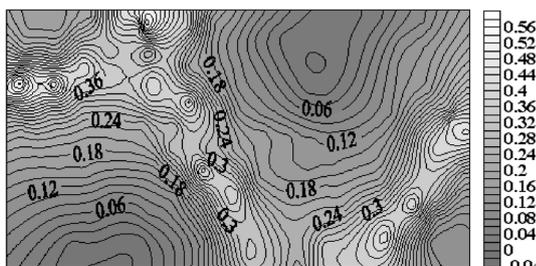
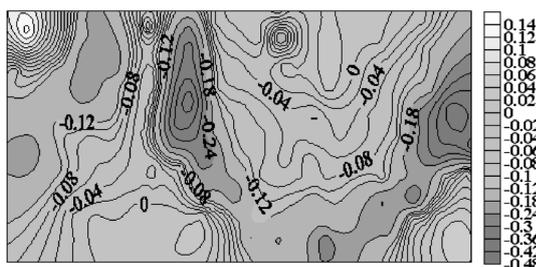
由图 8 (a) 可见, 试验初始阶段, 从试样变形图片及对应时刻应变场图均反映出试样变形比较均匀。在试样达到峰值强度时, 从对应的全表面变形场图 (图 8 (b)) 可明显看到, 一个倾斜的局部大应变区已形成并贯穿试样, 即剪切带已渐成型; 而从试样变形图片来看, 虽然试样已有不均匀变形的趋势, 但无法直观



(a) 初始试样变形形态及对应应变场图



(b) 中期试样变形形态及对应应变场图



(c) 末期试样变形形态及对应应变场图

图 8 不同阶段试样变形形态及对应时刻的径向、轴向应变场
Fig. 8 Specimen images and corresponding strain field maps at different deformation stages

4 结 语

三轴试验试样全表面变形测量的实现,为土工三轴试验试样局部化变形研究提供了有利的工具。它很好地解决了由于三轴试验轴对称特点所导致的试样变形形态依赖于观测角度这一问题,为试验研究提供了更全面、准确的数据信息。

硬件方面,改制了传统圆柱形压力室,借助于平面反光镜,实现了一台摄像机拍摄试样 360 度全表面的变形;并采用内置 LED 冷光源做照明光源,将压力室与摄像机支架柔性连接和密封,保证了照明的均匀性和试验环境的稳定性。

软件方面,基于控制对象的畸变修正方法,采用二次多项式拟合镜头畸变,将整场畸变降低到 0.2 个像素以下;在此基础上,对不同物距的原始数据进行像素当量归一化及应变计算,并将正对摄像机的前表面数据及两侧镜像数据结果进行拼接,最终通过图形处理软件得到了全表面应变场。

最后,以一组饱和砂土三轴剪切试验为例,通过全表面应变场分析剪切带的发生和发展过程,表明了全表面应变场在试样局部化变形过程分析中的优势。

关于本图像测量系统的测试精度,笔者另文有述。由本文中所得试样展开的应变场图,可通过图像变换的方法复原为柱状应变场图,相关工作正在开展,将陆续发表。

参考文献:

- [1] ALSHIBLI K A, STURE S. Sand shear band thickness measurements by digital imaging techniques[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 1999, 13(2): 103 - 109.
- [2] GULER M, EDIL T B, BOSSCHER P J. Measurement of particle movement in granular soils using image analysis[J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 1999, 13(2): 116 - 122.
- [3] HARRIS W W, VIGGIANI G, MOONEY M A, FINNO R J. Use of stereophotogrammetry to analyze the development of shear bands in sand[J]. Geotechnical Testing Journal, 1995, 18(4): 405 - 420.
- [4] DESRUES J, BESUELLE P, LEWIS H. Strain localization in geomaterials[M]. London: Geological Society, Special Publications, 2007, 289: 47 - 73.
- [5] MACARI E J, PARKER J K, COSTES N C. Measurement of volume changes in triaxial tests using digital imaging techniques[J]. Geotechnical Testing Journal, 1997, 20(1): 103 - 109.
- [6] ALSHIBLI K A, Al-Hamdan M Z. Estimating volume change

- of soil specimen from planar images[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2001, **16**(6): 415 - 421.
- [7] PHILIPPE J, FRANCOISE G, LYESSE L, et al. Automated digital image processing for volume change measurement in triaxial cells[J]. Geotechnical Testing Journal, 2006, **30**(2): 98 - 103.
- [8] 邵龙潭, 王助贫, 韩国城, 等. 三轴试验土样径向变形的计算机图像测量[J]. 岩土工程学报, 2001, **23**(3): 337 - 341. (SHAO Long-tan, WANG Zhu-pin, HAN Guo-cheng, et al. Digital image processing technique for measurement of the radial deformation of specimen in triaxial test[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, **23**(3): 337 - 341. (in Chinese))
- [9] 王助贫, 邵龙潭, 孙益振. 基于数字图像测量技术的粉煤灰三轴试样剪切带研究[J]. 岩土工程学报, 2006, **28**(9): 1163 - 1167. (WANG Zhu-pin, SHAO Long-tan, SUN Yi-zhen. Study on shear band of fly ash triaxial specimen based on digital image processing technique[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, **28**(9): 1163 - 1167. (in Chinese))
- [10] 邵龙潭, 董建军, 刘永禄, 等. 基于亚像素角点检测的试样变形图像测量方法[J]. 岩土力学, 2008, **29**(5): 1329 - 1333. (SHAO Long-tan, DONG Jian-jun, LIU Yong-lu, et al. Digital image measurement method of measuring triaxial specimen deformation based on sub-pixel accurate corner locator[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, **29**(5): 1329 - 1333. (in Chinese))
- [11] 董建军. 基于数字图像测量的非饱和压实土应力 - 应变特性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007. (DONG Jian-jun. Study of stress-strain characteristics of unsaturated compacted soil based on digital image measurement[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007. (in Chinese))
- [12] 王 春. 土工三轴试验试样表面变形场的测量[D]. 大连: 大连理工大学, 2008. (WANG Chun. Measurement of soil specimen surface deformation field in tri-axial test[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese))
- [13] 程 丽. 三轴试样表面应变场测量的应用研究初步[D]. 大连: 大连理工大学, 2008. (CHENG Li. Preliminary application study on strain field measurement of triaxial specimen[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese))
- [14] 孔 斌, 方廷建. 一种简单而精确的径向畸变标定方法[J]. 中国图像图形学报, 2004, **9**(4): 429 - 434. (KONG Bin, FANG Ting-jian. A simple and precise method for radial distortion calibration[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, **9**(4): 429 - 434. (in Chinese))
- [15] 杨必武, 郭晓松. 摄像机镜头非线性畸变校正方法综述[J]. 中国图像图形学报, 2005, **10**(3): 269 - 274. (YANG Bi-wu, GUO Xiao-song. Overview of nonlinear distortion correction of camera lens[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, **10**(3): 269 - 274. (in Chinese))

(上接 408 页)

Technical papers should deal with: Identification of problem soils; Test methods; Engineering geological aspects; Avoiding distress to infrastructure; Case studies.

Please email to the Secretariat at ci-p@cipremier.com the title, the abstract in 300 - 400 words in ms word and keywords, and the list of authors, please identify the name of the corresponding author.

The abstract will be sent for review, classification and acceptance.

The language of the conference is English.

Important Dates

Abstract received by: 15 May 2012. Text for review by: 15 July 2012. Final text deadline by: 30 July 2012. Conference Dates: 21~23 September 2012.

Conference Secretariat

Ci-Premier Pte Ltd 150 Orchard Road #07-14, Orchard Plaza, Singapore 238841, Tel: (065) 67332922. Fax: (065) 62353530. E-mail: ci-p@cipremier.com. Website: <http://www.cipremier.coz>.