

基于 DIC 测试的 Y 型裂缝结构压缩实验研究

郭梦雷

西南科技大学土木工程与建筑学院 四川绵阳 621000

摘要:在实际地质工程开采中,常常会遇到带有裂隙的岩体结构,分析带有裂缝的岩体结构在压缩过程中的受力情况对于建筑工程施工的安全具有重要的意义。本文利用 3D 打印技术制作出带有 Y 型裂缝的结构,通过基于 DIC 的新型测试技术并结合 ANSYS 有限元分析软件,来分析不同类型下的 Y 型裂缝构建在压缩状态下的应力应变分布状态,将实验结果与仿真结果相对比,分析其危险变形点,验证实验操作的可行性,为地质开采施工的安全防护提供一定的理论基础。

关键词:裂隙岩体; Y 型裂缝; 3D 打印; DIC 测试

引言

随着我国经济的不断发展,对矿产资源的需求也在不断增加。为了满足这种需求,“十三五”规划已经提出了很多以推动境内外石油、铁、铜、铝土矿等大型矿产勘探开发为目标的计划。在矿产资源的开发过程中,通常涉及到一些比较棘手的问题,例如复杂裂隙。页岩油气的开采、地热能勘探、水利工程、交通运输工程以及大型地下工程的建设等,在施工过程中都会遇到复杂裂隙岩体问题,造成局部或整体破坏,危及工程的稳定性^[1]。

在裂隙岩体室内试验中,已有国内外学者对含有单条、多条预制直裂隙的试样做了大量研究。Wong 和 Einstein^[2]研究了包含两个直裂隙岩石材料的压缩试验。张波等^[3]进行了大量的单轴压缩试验来研究裂隙是否含充填对类岩石材料试样力学特性的影响,研究发现含充填的岩体峰值强度比不填充的高,变形能力更强,填充物增大了裂隙岩体抵抗开裂的能力。赵延林等^[4]对含有预制有序多裂隙的类岩石试样进行了多次单轴压缩试验,发现有序多裂隙岩体的破坏模式主要贯通、拉伸、剪切三种。

当前国内外相关研究主要集中在受压作用下含预制直裂隙脆性材料的力学性能和破坏机理上,对于非直裂隙的研究较少。本文以带有 Y 型裂缝的正方体 3D 打印构件代表复杂裂隙岩体,基于 DIC 的测试技术并结合有限元仿真计算分析其在压缩状态下的应力应变分布情况。

1 DIC 测试及 3D 打印技术简介

DIC 测试技术是一种用于测量物体变形的非接触式测试技术,基于数字图像处理技术,将数字图像中的像素与实际物理坐标相对应,通过比较两幅图像中像素的位置和亮度信息来计算物体的变形情况。DIC 测试技术相比其他的方法具有试验简单、环境要求低等优点,为试样破裂机理和损伤本构分析提供新的途径。

3D 打印技术是一种逐层堆积成型的增材制造技术,通过 3D 打印技术能够快速、精确、可重复性地制造出复杂的结构体,它是一种以数字模型文件为基础,运用金属或塑料等可粘合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术^[5]。3D 打印技术的兴起,为解决上述裂隙岩体问题提供了有效途径。

2 斜左下型裂缝构件

2.1 实验前期准备

在正式实验之前首先要做好实验构件的前期准备,这其中主要包括构件的三维模型建立、3D 打印成形、表面散斑喷涂工作。利用 SOLIDWORKS 三维建模软件建立起 30mm × 30mm × 30mm 的正方体构件,并在其表面切除一个斜左下 Y 型的贯穿裂缝;模型建立完毕后即可利用 3D 打印机完成实验构建的打印成形;模型打印完成后还需要对其进行表面散斑喷涂,通常使用黑白漆喷涂,这是为了增加被测物体的图像质量,在 DIC 测试中,需要使用高速相机对试件表面拍摄多张图像,并通过这些图像计算出物体的变形情况,

因此要求被测物体表面能够对光产生散射,较为均匀地反射光线,进而得到清晰的图像。

在进行构件的散斑喷涂时要先在试件表面用白漆进行打底处理,将试件表面的缺点进行填充,然后在其表面进行黑漆的喷涂,喷涂黑漆时注意喷口斜向上 30°,使黑漆自由落到试件表面形成斑点,黑漆斑点面积大约占总面积的 50%。

2.2 实验过程操作及结果分析

本文所进行的构件单轴压缩试验是一个均匀受载过程,不存在偏心受压情况。本实验所采用的压缩装置是 SUNS WAW-1000 电液伺服万能试验机,试验机最大加载值为 1000KN,精度为 ± 0.1%。

首先通过人工补光以及对焦实验拍摄效果的最佳位置,得到构件静态图像采集,喷涂斑点的质量直接决定着实验结果的精确度,因此在正式实验之前还需要对构件喷涂质量进行评估。图像采集及喷涂质量评估如下图 1 所示,从图中可以看出喷涂的质量比较好,在实验可控误差范围之内。

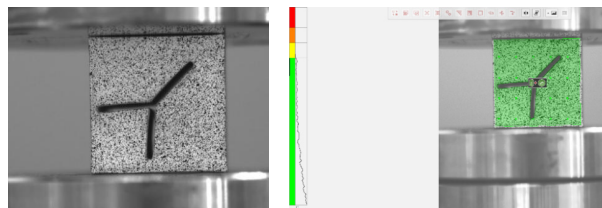
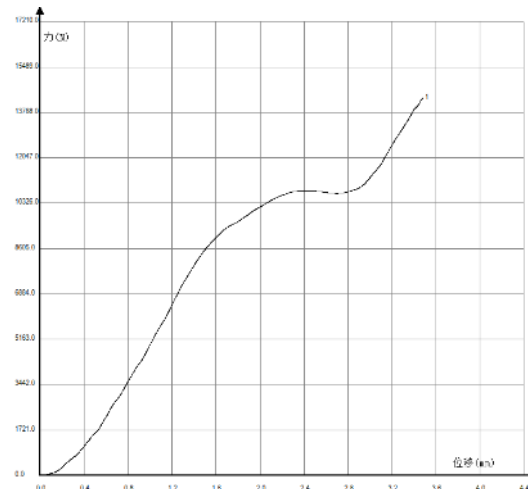


图 1 斜左下 Y 型构件图像采集及喷涂质量评估

接下来就是对构件的压缩试验,液压机是一个逐步增大压力的实验器材,本实验所设置的增压速率为 10 N/s。通过与液压机相连的电脑软件 GOM 可以分析得到该构件在逐步加压的过程中的力—位移曲线图和应变云图,分别如图 2 所示。



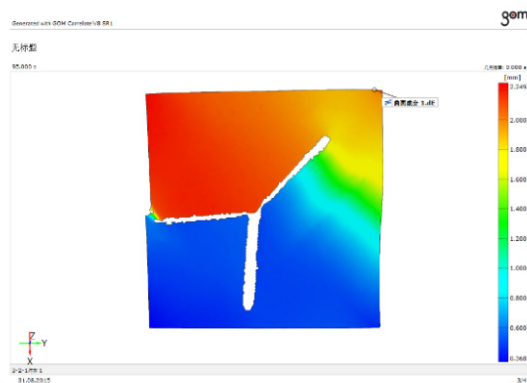


图2 斜左下Y型构件变形曲线及应变云图

从图3可以观察到刚开始的压缩阶段结构出现了类似于弹性变形的阶段,随着力的不断增加,构件的变形也不断增加。当力达到某一特定值,大约10KN的时候构件开始出现较为明显的塑性变形,构件整体发生破坏,外表发生较为明显的变形。从应变云图中可以看出最大的应变已经达到了2.3mm左右,主要形变发生在结构的左上角以及Y型分叉处。

3 斜左上型裂缝构件

3.1 实验前期准备

对与斜左上上的Y型裂缝构件的实验前期准备与前文斜左下的构件类似,同样也是先基于三维建模软件建立出模型,然后利用3D打印装置完成实体装置的制作,接下来运用同样的方法完成构件表面散斑的喷涂。

3.2 实验过程操作及结果分析

首先通过人工补光以及对焦实验拍摄效果的最佳位置,得到构件静态图像采集,同时进行散斑喷涂质量评估,图像采集及喷涂质量评估如下图3所示,从图中可以看出喷涂的质量比较好,在实验可控误差范围之内。

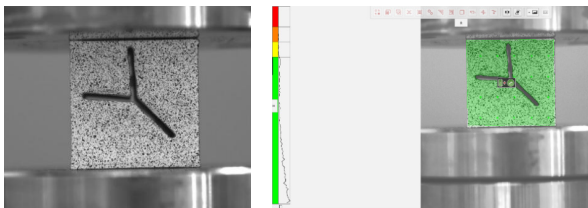


图3 斜左上Y型构件图像采集及喷涂质量评估

利用上述相同的方法对该构件进行压缩试验,增压速率为10 N/s。通过与液压机相连的电脑软件GOM可以分析得到该构件在逐步加压的过程中的力一位移曲线图和应变云图,分别如图4所示。

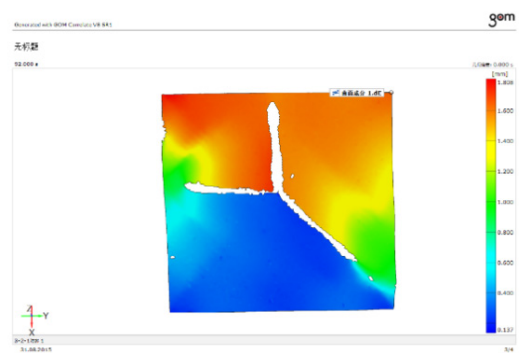
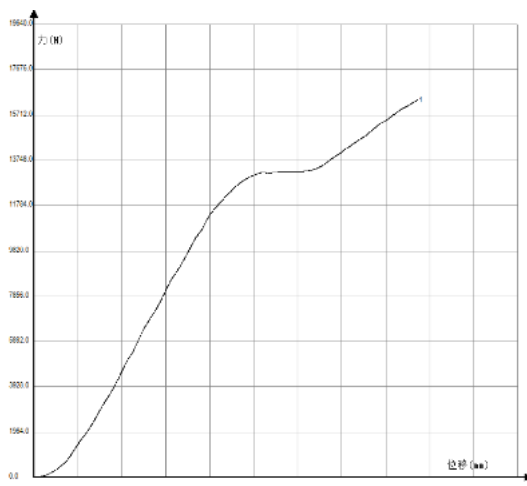


图4 斜左上Y型构件变形曲线及应变云图

通过图4观察可以发现,斜左上上的Y型构件,当力达到10.2KN的时候发生较为明显的塑性变形以及应变最大位置与前文的情况还有所不同。斜左上Y型构件应变的主要发生部位是Y型裂缝的两个夹角之间,最大应变约为1.8mm。

4 实验结果与模拟对比分析

通过以上三组实验发现两种不同类型的Y型裂缝构件产生塑性变形所需要达到的外力大小以及最大应变位置都是有所不同的,因此考虑对斜左下Y型构件以及斜左上Y型构件进行数值模拟仿真,以达到验证实验结果准确度的目的。

本文通过利用ANSYS有限元仿真软件,对斜左下以及斜左上Y型构件进行网格划分、数值模拟得到这两种结构的应变情况,并与实验所得到的应变图像进行对比,通过对比可以发现数值模拟的结果与实验的结果基本吻合,发生最大应变的部位一致。斜左下Y型构件为结构整体的左上角部分,靠近裂缝出变形最明显;斜左上Y型构件为结构Y型的夹角之间,靠近下面的裂缝变形更明显。

5 结论

(1) 本文通过3D打印与DIC测试技术的相结合,利用3D打印的结构作为压缩试验的原材料,以此来模拟地质探测过程中带有类似于Y型裂缝的岩石的受力变形情况,以此来为地质探测工作的安全防护措施实施提供一定的理论依据;

(2) 本文通过对斜左下Y型、斜左上Y型构件进行压缩实验,分别得到了其力一位移曲线以及应变云图,分析发现各自的变形最大位置基本都位于Y型裂缝附近的受力区,特别是当裂缝是倾斜状态时,Y型夹角之间的变形最为明显;

(3) 本文最后还通过ANSYS有限元仿真计算结果与实验结果进行对比分析,对实验的可行性以及准确性进行验证,发现在一定误差范围内实验结果真实可靠,可以作为理论依据。

参考文献:

- [1]李碧勇,朱哲明. 压缩载荷作用下分支裂纹断裂与扩展的数值和实验研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(7): 1207-1214.
- [2]黄伟. 单轴压缩下裂隙岩体变形破坏机制研究[D]. 昆明理工大学, 2018.

作者简介: 郭梦雷(2002年4月-),男,汉族,河南洛阳,本科在读。