

数字图像识别技术在桥梁荷载试验中的应用

王茂华¹, 苏文明^{2,3}

¹青岛大沽河省级生态旅游度假区管理委员会, 山东 青岛

²山东高速工程检测有限公司, 山东 济南

³桥梁结构大数据与性能诊治提升交通运输行业重点实验室, 山东 济南

Email: 527518838@qq.com

收稿日期: 2021年9月1日; 录用日期: 2021年9月23日; 发布日期: 2021年9月30日

摘 要

基于数字图像相关技术DIC (Digital Image Correlation), 建立了箱梁全场变形以及裂纹扩展监测与分析系统, 对不同等级加载下箱梁全场变形以及裂纹宽度变化进行了监测试验, 得到了准确数据。研究对数字图像相关技术在桥梁工程中的应用具有一定的参考借鉴价值。

关键词

箱梁, DIC, 全场变形, 裂纹扩展, 监测试验

Application of Digital Image Recognition Technology in Bridge Load Test

Maohua Wang¹, Wenming Su^{2,3}

¹Qingdao Dagu River Provincial Eco-Tourism Resort Management Committee, Qingdao Shandong

²Shandong Hi-Speed Engineering Testing Co, Ltd., Jinan Shandong

³Key Laboratory for Bridge Structure Big Data, Performance Diagnosis and Treatment Improvement of Transportation Industry, Jinan Shandong

Email: 527518838@qq.com

Received: Sep. 1st, 2021; accepted: Sep. 23rd, 2021; published: Sep. 30th, 2021

Abstract

Based on Digital Image Correlation (DIC), a system for monitoring and analyzing the full-field deformation and crack expansion of box girders was established, and accurate data were successfully obtained for monitoring the full-field deformation and crack width changes of box girders under

different levels of loading. In a word, this study was of a certain reference for the application of digital image relevant technology to actual bridge engineering.

Keywords

Box Girder, DIC, Full-Field Deformation, Crack Propagation, Monitoring Test

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

数字图像相关技术(Digital Image Correlation)简称 DIC, 通过在被测物表面制作特征点(散斑图), 通过捕捉散斑特征在像素级别的移动, 从而得到表面的全场位移、应变等[1]。该技术在隧道巷道变形监测[2][3]、岩样的破坏[4]、混凝土材料的破坏[5]等研究中的应用均有较好的效果。

在桥梁工程中, 由于整个桥梁在加载后桥梁整体变形非常小, 同时造成裂缝宽度的变化量非常小, 此时可以利用 DIC 技术对桥梁结构在加载时的位移变化、裂纹扩张等情况进行较为准确的监测。本文于青岛市胶州市三里河大桥, 采用基于 DIC 的 VIC-3D 技术建立了箱梁变形监测系统。通过连续拍摄数字图像, 精确测量结构表面全场位移情况, 从而获取箱梁全场的应变测量响应以及裂纹的张开情况, 得到箱梁加载过程中全场变形、应变及裂纹宽度张开情况的准确试验数据。

2. 试验描述

2.1. 试验环境

本次试验于青岛大沽河省级生态旅游度假区站前大道 K3 + 790 处三里河大桥进行。大桥主桥为(88 + 40) m 混合梁斜拉桥, 主跨为全焊扁平流线形封闭钢箱梁, 边跨为预应力混凝土箱梁。桥梁于 2010 年建成, 设计速度 60 km/h, 设计荷载为公路-I 级。本次试验于桥梁边跨进行, 桥型布置如图 1。

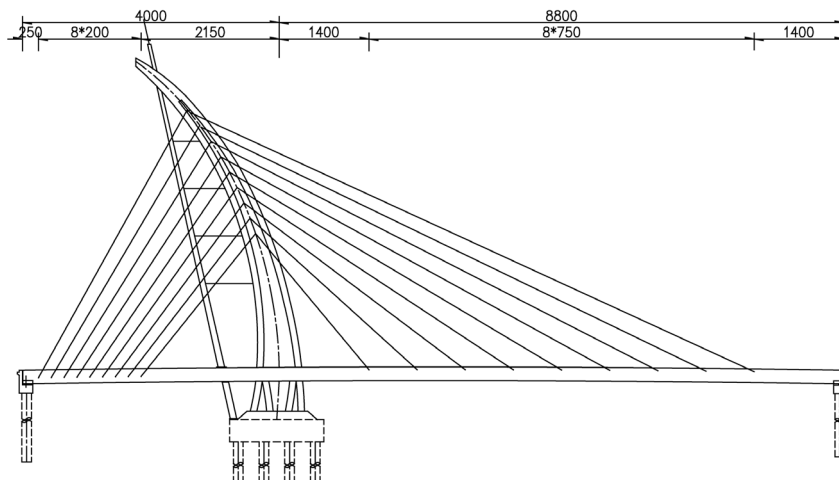


Figure 1. The elevation layout of Sanlihe Bridge

图 1. 三里河大桥立面布置示意图

2.2. 试验装置

由于环境比较复杂且加载变形小, 全局观察一个面上所有的裂缝可能无法获得细部的准确结果。为了准确把握全局变形及局部裂纹在不同加载等级下变化情况, 本次试验采用两套 VIC-3D 系统, 一套系统测试多条裂缝, 测试面积大约为 $1500\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$, 另一套仅仅只观测一条裂缝的变形情况, 测试面积为 $150\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 。试验系统规格如表 1。

Table 1. Parameters of the test monitoring system

表 1. 试验监测系统参数

参数	系统 1	系统 2
相机品牌	CSI-12.3M	CSI-8.9M;
感光分辨率	4096×3000	4096×2160 ;
镜头	8 mm 广角镜头	35 mm 定焦镜头;
光源	LED 面光源	LED 点光源

VIC-3D 基于 DIC 算法, 理想散斑尺寸大小在 5~8 个像素。可根据式样观测区域范围确定使用镜头规格、测试距离以及散斑尺寸。大区域视野范围根据计算得到散斑大小尺寸在 2.5 mm 左右, 采用 CIS 专用散斑制作工具滚轮进行散斑制作, 小区域视野范围根据计算得到散斑大小尺寸在 0.1 mm 左右。图 2 为制作完成后的散斑图样。



Figure 2. Fabrication of box beam scattered spot. (a) Box beam large field of view scattered spot map; (b) Box girder small field of view scattered spot map

图 2. 箱梁散斑制作图。(a) 箱梁大视野散斑图; (b) 箱梁小视野散斑图

2.3. 试验系统布置

试验采用两套系统进行全局以及局部裂纹的测试, 大视野范围采用面光源进行大视野范围的照亮, 对于局部的测试, 采用的是点光源进行局部视野的照亮。现场布置图如图 3 所示。

系统布置完成后需进行测试校正以保证结果可信度。VIC-3D 采用美国 NIST 以及中国标准计量局认证的校正板, 该校正主要校正采集图片像素对应实际尺寸。图 3 为系统校正过程, 图 4 所示为系统校正板套装, 本次试验根据分析视野大小, 大视野采用 28 mm 校正板, 小视野采用 10 mm 校正板。

校正结果如图 5 所示。校正结果 VIC-3D 分析校正板 140 个标识点, 每个标志点圆度, 以及中心点之间的距离。结果数据显示整个区域校正结果为 0.019。



Figure 3. Test system arrangement. (a) Box girder full field system arrangement; (b) Box girder local system arrangement

图 3. 试验系统布置。(a) 箱梁全场系统布置; (b) 箱梁局部系统布置

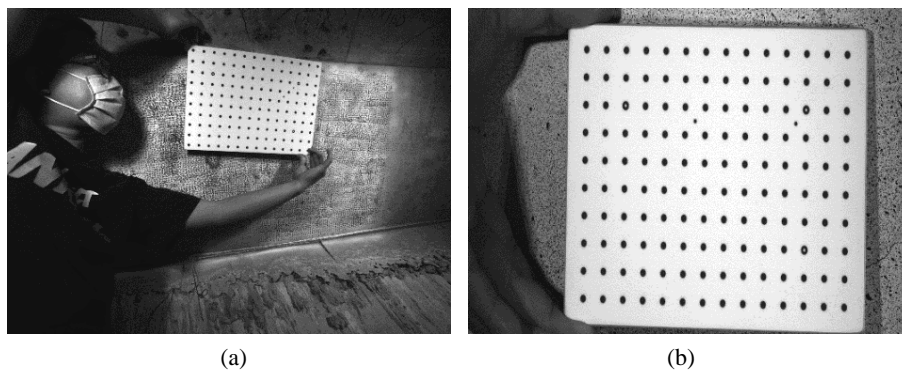


Figure 4. Test system calibration. (a) Box beam large field of view area correction; (b) Box beam small field of view area correction

图 4. 试验系统校正。(a) 箱梁大视野区域校正; (b) 箱梁小视野区域校正

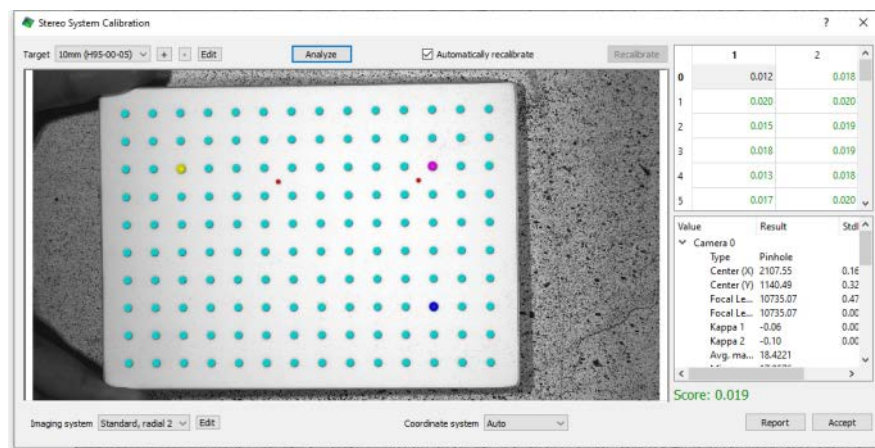


Figure 5. VIC-3D system calibration results

图 5. VIC-3D 系统校正结果

2.4. 试验过程

本次试验通过控制加载车数量实现不同等级的加载, 每个加载等级时连续进行 5 次照片拍摄, 从而得到阶梯型的数据结果。

3. 试验结果及分析

3.1. 全局试验结果及分析

3.1.1. 形貌分析

试验中系统自定义坐标系箱梁墙面水平方向为 X 轴, 纵向为 Y 轴, 垂直于墙面为 Z 轴, 箱梁墙面 3D 视图如图 6 所示。可以看出整个墙面并不是一个平面, 在垂直墙面的方向上有一个 10 mm 左右的高度差, 在试验现场通过人眼也可分辨出。

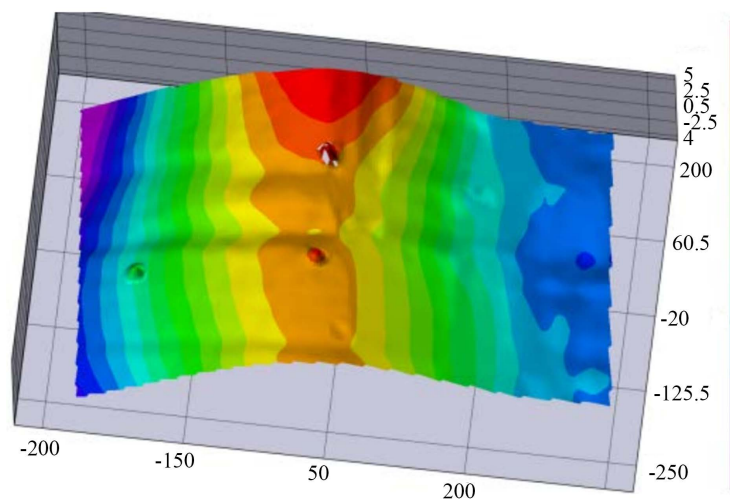


Figure 6. 3D shape of analysis results
图 6. 分析结果 3D 形貌

3.1.2. 位移分析

控制加载车数量进行加载以及卸载试验, 在增加重量后, 墙体会会有一个整体的位移, 在加载过程中墙体表面的平均水平位移的变化情况如图 7 所示, 其中曲线中纵坐标为墙体水平方向位移的平均值, 横坐标为不同加载的照片序列(每次加载拍摄 5 张照片), 从图中可以看出, 水平方向位移量最大为 0.7 mm。

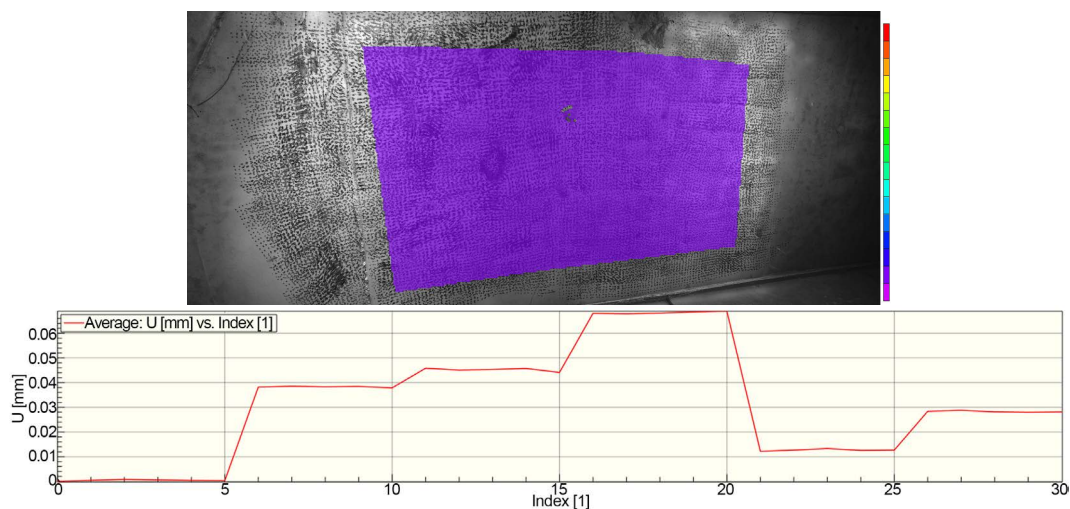


Figure 7. Horizontal displacement cloud map
图 7. 水平方向位移云图

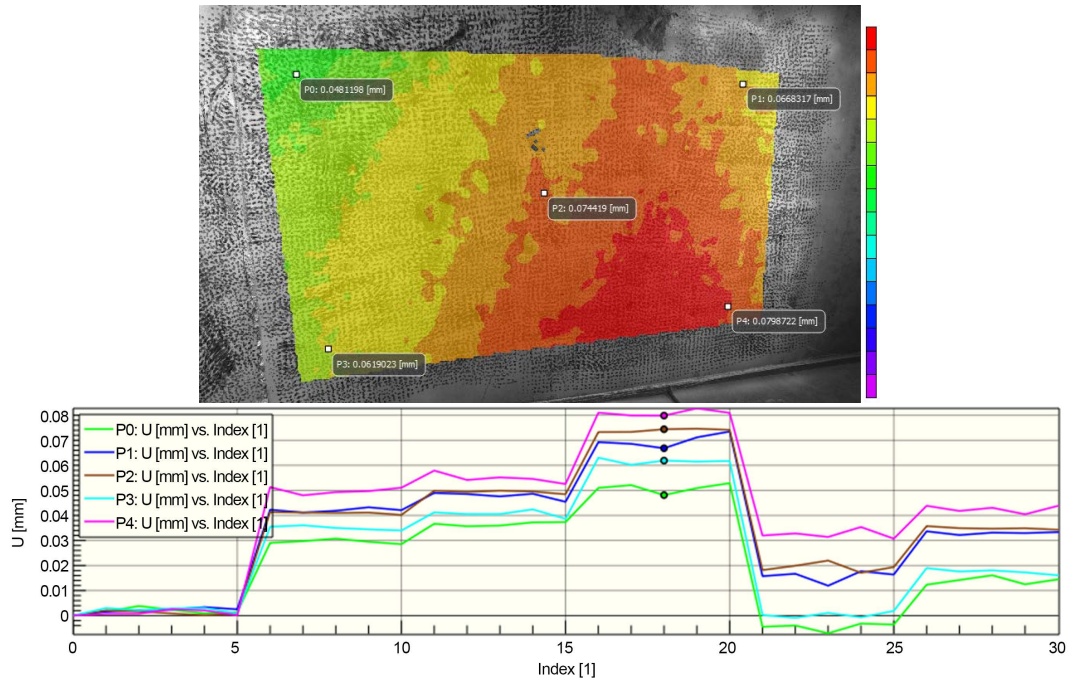


Figure 8. Displacement clouds of different points in horizontal direction
图 8. 水平方向不同点位移云图

图 8 为不同位置选取了 5 个点得到不同位置的水平位移曲线, 图中不同颜色表示不同的水平位移值, 红色表示较大的水平位移值。可以看到在第一次加载后 P₄ 点水平位移量最大, P₀ 的位移量最小。

3.1.3. 应变分析

试验在 VIC-3D 软件中直接进行应变分析, 图 9 为未加载时的原始裂缝, 图 10 加载过程中水平方向的应变云图, 图中紫色的区域是压缩应变, 红色的表示拉伸应变, 原始裂缝处在加载过程中呈现了压缩现象, 出现了压缩应变集中。图 11 为水平方向平均应变对应曲线, 可以清晰的看到加载过程中应变变化呈阶梯状, 曲线中最大值为 39 $\mu\epsilon$ 。



Figure 9. Original cracks
图 9. 原始裂缝

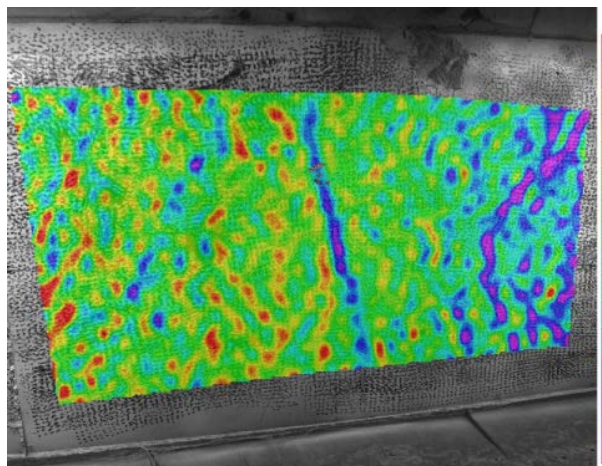


Figure 10. Horizontal strain test results
图 10. 水平方向应变测试结果



Figure 11. Horizontal strain curve
图 11. 水平方向应变曲线

3.1.4. 裂纹扩张分析

试验中在待观测裂纹两侧画一条引伸计 E0, 观测裂纹的扩张情况, 如图 12 所示。裂纹的宽度变化曲线具有一定的阶梯变化, 裂纹变化最大值 $\Delta L = -0.0012 \text{ mm}$, 其中负值代表压缩, 即最大压缩量为 0.0012 mm。宽度变化曲线如图 13。

通过加载后箱梁表面全场监测数据可以看出, 利用 DIC 技术可以对桥梁加载后表面位移、应变、裂纹扩展实现精准测量, 并能直接进行监测数据分析; 同时可以一次对多个点位进行测量与分析。

3.2. 局部试验结果及分析

3.2.1. 局部应变分析

图 14 为未加载时的局部原始裂缝, 如图 15 所示为加载过程中裂缝水平方向的应变云图。图 15 中紫色的区域为压缩应变, 红色区域为拉伸应变, 可以看到原始裂缝在加载过程中呈现了压缩现象, 出现水平压缩应变集中。图 16 为剪切全场应变云图, 从图中可以清楚的看到裂缝处剪切应变的分布。

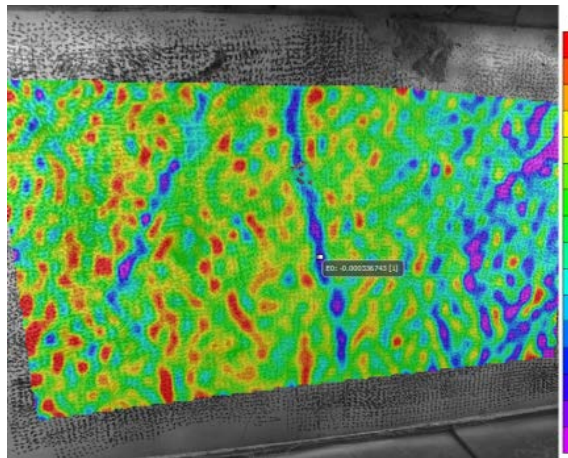


Figure 12. Original cracks
图 12. 原始裂缝



Figure 13. Crack width variation curve
图 13. 裂缝宽度变化曲线

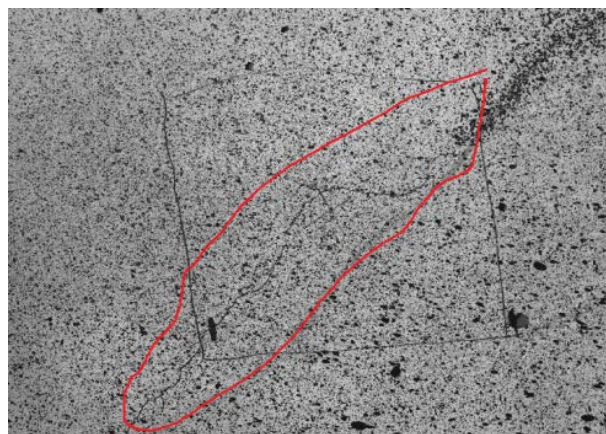


Figure 14. Localized original cracks
图 14. 局部原始裂缝

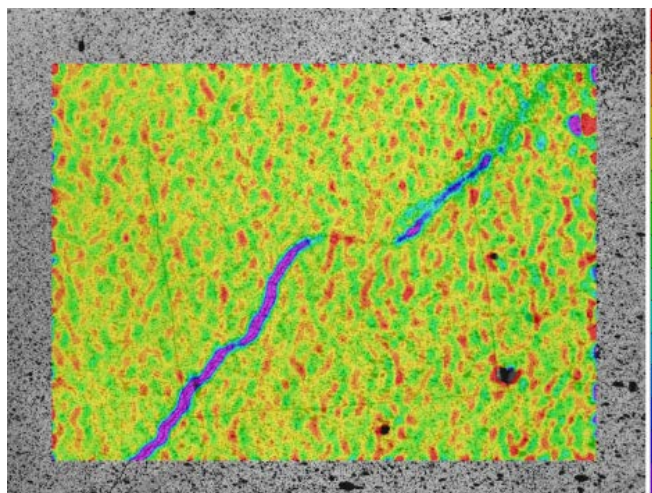


Figure 15. Horizontal strain
图 15. 水平方向应变

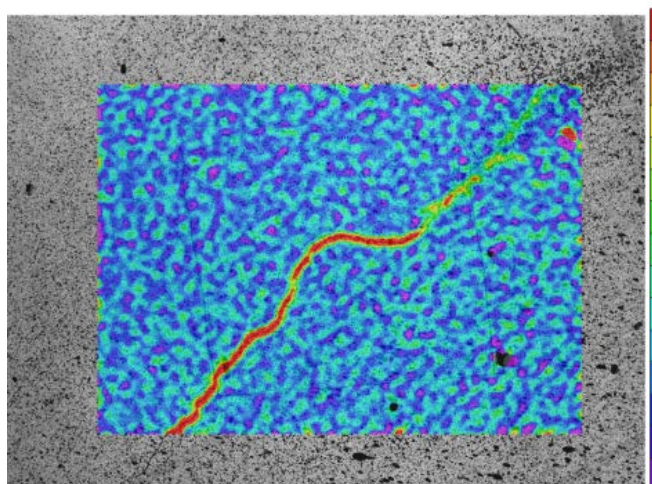


Figure 16. Shear strain cloud
图 16. 剪切应变云图

3.2.2. 局部裂纹扩张分析

于待观测裂纹两侧画一条引伸计 E0, 观测裂纹的扩张情况。如图 17 所示, 裂纹的宽度变化曲线阶梯变化比较明显, 裂纹变化最大值 $\Delta L = -0.0008 \text{ mm}$, 其中负值代表压缩, 即最大压缩量为 0.0008 mm 。

通过加载后箱梁局部裂缝监测数据可以看出, 相较全场测量, 局部测量可以实现更高精度的裂纹应变、宽度变化情况监测, 对掌握局部重点裂缝发展情况有更好的作用。

4. 主要结论

本次试验通过 DIC 方法测试三里河大桥在不同等级加载下的箱梁位移应变情况以及裂缝宽度的变化情况, 通过采用两套 VIC-3D 系统进行箱梁不同视野范围的测量, 在大视野情况下可以观测多条裂纹的变形, 小视野范围下可以更加准确地对单条裂缝进行分析。

通过监测试验得到如下结果:

- 1) 全场位移云图以及全场应变云图并可进行任一点的提取;

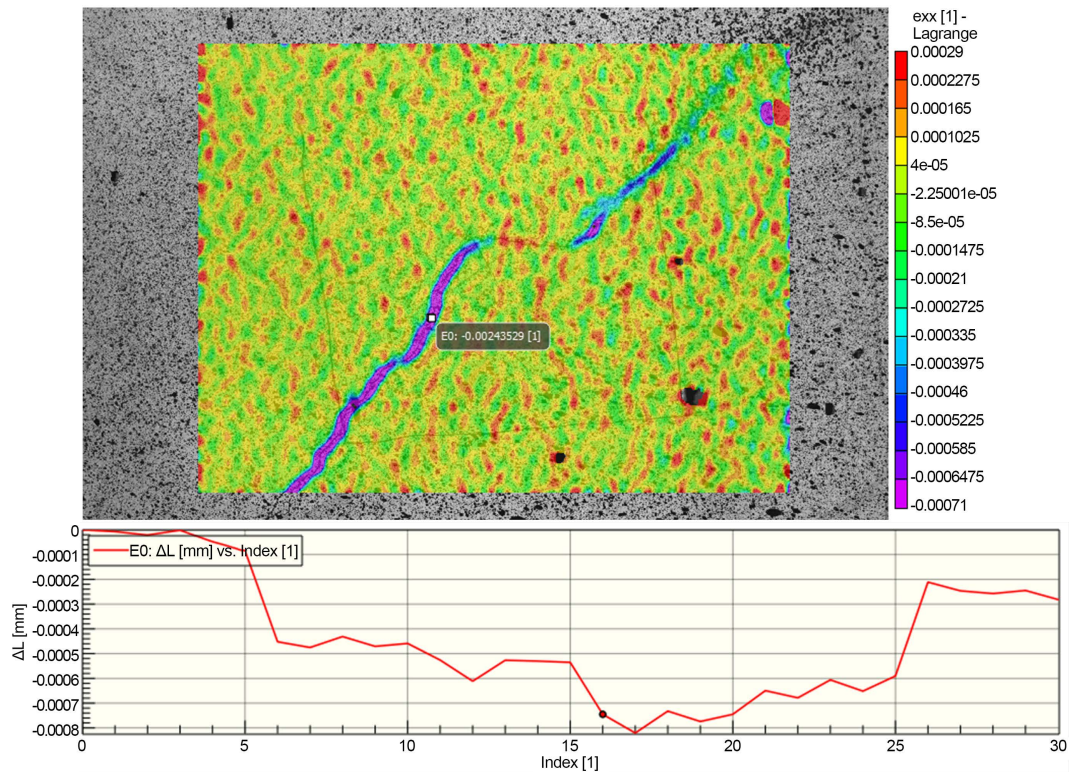


Figure 17. Local crack width variation curve

图 17. 局部裂缝宽度变化曲线

- 2) 位移及应变的阶梯曲线;
- 3) 加载过程中视野范围内裂缝处应变集中可以清晰地从云图中看出, 其中整体平均应变量为 40 微应变左右;
- 4) 大视野情况下裂缝宽度变化量为压缩 0.0012 mm, 观测单条裂缝宽度时变化量为压缩 0.0008 mm;
- 5) 试验探索了 DIC 技术在桥梁变形及裂缝扩展监测方面的应用, 对数字图像相关技术在桥梁工程其他方面的应用研究具有参考借鉴价值。

参考文献

- [1] Schreier, H., Orteu, J.J. and Sutton, M.A. (2009) Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. Springer-Verlag, New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78747-3>
- [2] 柴金飞, 徐建威. 基于 DIC 技术的隧底补强变形监测与控制[J]. 中国铁路, 2018(9): 75-79.
- [3] 杨立云, 王贵东, 徐龙宁, 等. 基于数字图像相关技术的巷道模型变形监测试验[J]. 中国矿业, 2020, 29(5): 76-81.
- [4] 米红林, 色麦尔江·麦麦提玉苏普, 杨晓东. 基于数字图像相关技术的岩样破坏实验的应用研究[J]. 力学季刊, 2021, 42(1): 46-53.
- [5] 白鹏翔, 倪英荐, 蒋睿, 等. 基于数字图像相关技术的混凝土剪切破坏实验研究[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(36): 105-110.