

桥梁墩柱损伤动力测试分析及评价

韩之江¹, 王易阳², 吕立宁¹

(1. 山西省交通科学研究院黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室, 太原 030006;
2. 河海大学大禹学院, 南京 210098)

摘要:采用环境随机激励法和脉冲激励法两种方法,利用动力测试技术,对受损桥墩进行测试。通过桥墩理论频率计算值与桥墩实测频率值比较,无损桥墩频率值与损伤桥墩频率值比较,对受损桥墩的整体工作性能进行了综合评价,以探讨一种对受损桥墩的快速检测方法。

关键词:桥梁墩柱;动力测试;自振频率

中图分类号:U443.22

文献标志码:A

随着交通建设事业的飞速发展,桥梁结构作为公路的咽喉,安全性日益引起大家的关注。对于大型桥梁结构损伤的准确判定是当前工程界的一个难点和关注热点。采用传统检测方法超声波法、回弹法、超声回弹综合法^[1]和钻芯法对混凝土内部损伤判定均有一定局限性。本文以受损矩形薄壁桥墩作为工程实例,探讨采用动力测试法^[2]对受损桥墩的整体工作性能进行评估。

1 工程概况

三交互通湫水河大桥,桥梁全长 958 m,中心里程桩号为 K29+847.5,上部结构采用 9×30 m 小箱梁+7×33 m 现浇连续箱梁+15×30 m 小箱梁;下部结构采用柱式墩、实心墩(21#~29#桥墩采用矩形薄壁实心墩),桥台采用柱式台、肋板台;基础采用桩基础。

该桥 29#桥墩施工完毕后,由于从 30#桥台部位大量倾倒弃石,部分弃石对 29#桥墩造成严重撞击,致使 29#桥墩表面出现大量撞击造成的掉块、划痕等现象(图 1)。检查结果:29#桥墩在距离承台底面 2~3 m 位置存在明显撞击造成的混凝土缺陷,最大掉块、露筋面积有 0.5 m²,为掌握该桥墩受撞击后的质量状况,通过桥墩动力性能测试,评定桥墩的工作性能。



图 1 29#桥墩立面照

2 检测方法

检测主要针对该桥 29#桥墩损伤和破坏程度进行检测。由于 29#桥墩已经出现损伤和破坏,因此检测时既要确保检测方法安全有效,又要避免检测所带来的二次结构损伤。综合考虑,采用动测法对桥墩的整体工作性能进行评估。动测法根据激励类型可分为环境随机激励法和脉冲激励法,本次试验分别采用环境随机激励法和脉冲激励法两种方法进行对比测试。

环境随机激励法^[3]是在桥址附近无规则震源的情

收稿日期:2011-04-30

基金项目:山西省交通运输厅项目(2012-1-13)

作者简介:韩之江(1968-),男,浙江萧山人,教授级高工,主要从事桥梁设计、检测方面的研究,(E-mail)sxythzj1968@qq.com

况下,桥梁结构在风荷载、地脉动和水流等随机荷载作用下产生微幅振动,利用动态测试系统测得结构的这种微小随机响应信号,通过频谱分析得出结构的自振频率、振型和阻尼比等结构模态参数,又称脉动法。环境随机激励法的优点是不需对结构施加外部激励即可进行信号采集,主要缺点在于激励能量微弱,而且环境激励(地微动)也属于强制振动,当环境振动有明显周期性时,可能会造成误判。

脉冲激励法是给结构一个脉冲激励信号,采集结构在给定激励信号下的响应,通过频谱分析识别出结构的模态参数。脉冲激励法的优点在于脉冲激励信号能量较强,短时间内即可完成结构响应信号的采集,主要缺点在于脉冲激励往往难以激发低频模态。

根据以往对桥梁结构自振特性测试的实践,考虑到试验桥墩是一种较低频结构,采用超低频高灵敏度拾振器采集结构振动信号,配备 DH5907A 桥梁模态无线测试系统作为测试设备。在动态测试与分析中,为有效防止高频混叠现象,须将采样前的信号限制在一定的频带范围内。根据采样定理,为提高频率分辨率,采样频率设置为 100 Hz。

3 工作原理

动测法是一种间接检测方法,其基本原理是:通过测试结构的自振频率、振型和阻尼比等固有动力特性指标,从侧面评估结构的整体安全性能及损伤程度。选用该方法进行检测,既不会对结构造成损伤,又能综合反映混凝土强度、浇筑质量、损伤和破坏程度。

对于单个钢筋混凝土桥墩而言,其自振频率值主要由桥墩截面尺寸、截面形式、计算长度、约束条件、混凝土性能、施工质量以及损伤等共同决定,在桥墩截面尺寸、截面形式、计算长度、约束条件既定的情况下,其自振频率值则完全由混凝土的性能(主要是混凝土弹性模量和强度),混凝土施工质量(主要是密实情况)和结构损伤决定^[4]。因此只要获得桥墩的自振频率值,再将其与理论值进行对比,就能对混凝土强度、混凝土施工质量和结构损伤三方面的综合性能予以评估。

4 检测结果的评定

按照《公路桥梁承载能力检测评定规程》^[5](JTG/T J21-2011)5.9条:桥梁自振频率变化不仅能够反映结构损伤情况,而且还能反映结构整体性能和受力体系的改变。通过测试桥梁自振频率的变化,可以分析桥梁结构性能,评价桥梁工作状态。参照桥梁自振频率评定标

准(表1),对该桥桥墩的整体性能进行评定,其中 f_{di} 为桥墩自振频率理论值, f_{mi} 为桥墩自振频率实测值。

表1 桥梁自振频率评定标准

桥梁部件	上部结构	下部结构
评定标度	f_{mi}/f_{di}	f_{mi}/f_{di}
1	≥ 1.1	≥ 1.2
2	1.0 ~ 1.1	1.0 ~ 1.2
3	0.9 ~ 1.0	0.95 ~ 1.0
4	0.75 ~ 0.9	0.8 ~ 0.95
5	0.75 以下	0.95 以下

5 动力测试结果

采用江苏东华的 DH5907A 桥梁模态无线测试系统对该桥墩的动力特性进行测试。测试分别采用环境随机激励和脉冲激励两种方式。脉冲激励采用橡皮锤敲击桥墩,对桥墩结构产生一个脉冲激励信号。利用高灵敏度的拾振器和放大记录设备,对桥墩的振动响应信号进行采集取样,借助数字信号数据处理技术,获得桥墩动力特性参数。

为确保测试结果可靠性,同时利于测试数据的综合分析,在对该桥左、右幅 29#墩测试的同时,对左、右幅 25#墩,左、右幅 26#墩,左幅 27#墩也进行了测试。在右幅 25#墩顶、下部各放置一个传感器测点,测试结果如图 2、图 3 所示。该桥墩由于墩高较高,结构下部动力响应较小,墩顶测点准确获取了结构一阶、二阶自振频率值,下部测点一阶频率值不明显,二阶频率值较为明显,上、下测点实测二阶频率值一致。由于多数桥墩无法到达墩顶位置,因此测试结果取结构二阶频率值。测试结果见表 2。

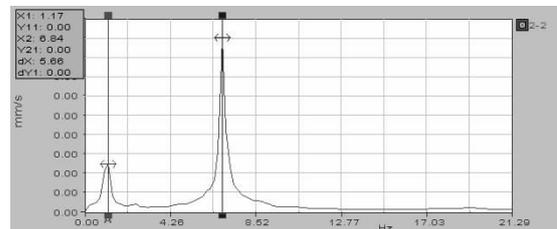


图2 右25#墩顶测点频谱图

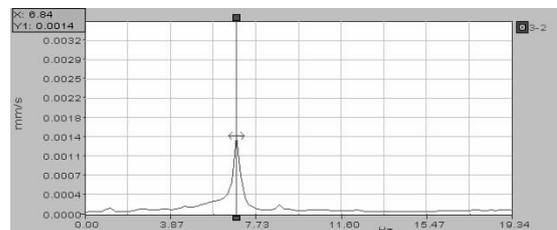


图3 右25#墩下部测点频谱图

表 2 桥墩自振频率实测结果

墩号	墩身高度 (m)	实测二阶频率值 (Hz)
左幅 25#墩	27.82	6.84
右幅 25#墩	28.03	6.84
左幅 26#墩	30.64	5.91
右幅 26#墩	30.85	5.71
左幅 27#墩	32.36	5.27
左幅 29#墩	28.00	5.86
右幅 29#墩	28.21	6.05

6 理论计算

采用 midas/civil 有限元分析软件,对桥墩结构进行了有限元建模分析(图 4)。有限元模型中桥墩的截面形式、强度和弹性模量均以设计值考虑,不考虑桥墩存在任何施工缺陷和实体损伤,桥墩端部约束条件为全约束,未考虑桩基的影响,因此桥墩计算模型刚度较结构实际刚度稍大,所得自振频率计算值较理论真实值略大,以此计算结果按照表 1 的方法对桥墩性能进行评价将偏于安全。桥墩结构自振频率计算结果见表 3。

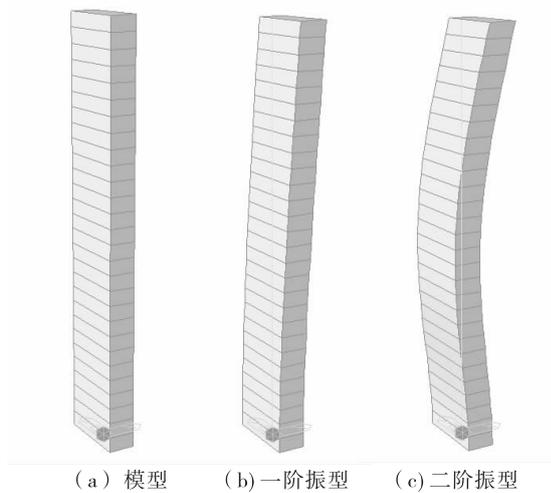


图 4 结构有限元模型

表 3 桥墩自振频率理论计算结果

墩号	墩身高度 (m)	理论二阶频率值 (Hz)
左幅 25#墩	27.82	6.80
右幅 25#墩	28.03	6.71
左幅 26#墩	30.64	5.65
右幅 26#墩	30.85	5.58
左幅 27#墩	32.36	5.10
左幅 29#墩	28.00	6.72
右幅 29#墩	28.21	6.63

7 测试结果分析

由测试频谱曲线图 5、图 6 可以看出环境随机激励下结构低阶模态参数被完全激励出来,而高阶模态参数没有被激励出来;在脉冲激励下结构频谱曲线较为复

杂,高阶模态参数也被激励出来。两种测试方法低阶模态参数结果基本一致,考虑测试桥墩属低频结构,脉冲激励信号能量难以准确掌握,模态参数难以准确判定。以环境随机激励测试数据进行分析。

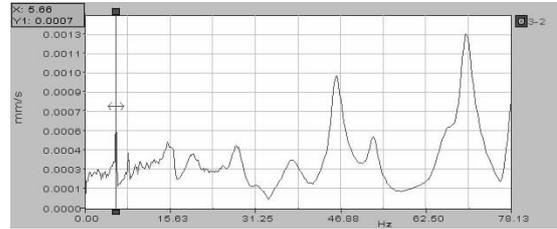


图 5 右 26#墩脉冲激励频谱

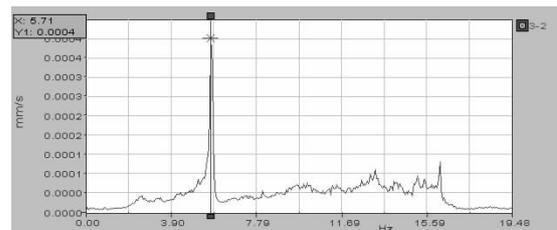


图 6 右 26#墩环境随机激励频谱

由图 7、图 8 可以看出,桥墩频率理论计算值和无损伤桥墩频率实测值沿桥墩高度分布均可用二次曲线较好地拟合,两者回归方程近似一致,有损伤桥墩实测频率值则与理论计算频率值偏差较大。

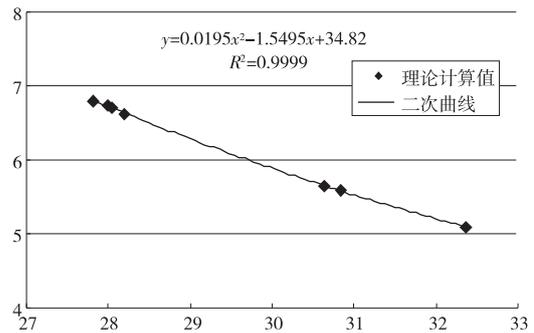


图 7 桥墩频率理论计算值沿墩身高度分布图

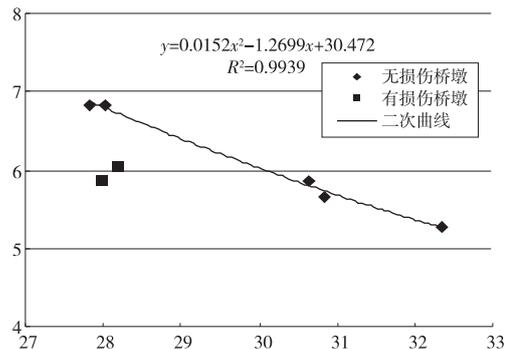


图 8 有损、健全桥墩频率实测值沿墩身高度分布图

按照表 1 的方法对测试桥墩性能进行评价,评价结

果见表4。根据结构动力测试分析结果,左右幅29#墩频率实测值明显小于理论值,且受撞击影响较大的左幅29#墩实测值与理论值比值最小,仅为0.87。这充分说明墩柱受撞击造成的内部损伤已导致墩柱动力特性参数不满足设计要求。

表4 桥墩评价结果

序号	墩号	理论频率(Hz)	实测频率(Hz)	f_{mi}/f_{di}
1	左25#	6.80	6.84	1.01
2	右25#	6.71	6.84	1.02
3	左26#	5.65	5.91	1.05
4	右26#	5.58	5.71	1.02
5	左27#	5.10	5.27	1.03
6	左29#	6.72	5.86	0.87
7	右29#	6.63	6.05	0.91

8 建议

根据墩柱动力特性测试分析结果,29#墩实测值明显小于理论计算值,不能满足设计要求。为确保结构在

未来使用过程中的安全,建议对29#墩进行相应的加固处理,可对墩身进行截面补强,同时对墩身四周进行砌石防护。

参考文献:

- [1] 赵庆昌.超声回弹综合法检测结构混凝土强度应用[J].山西交通科技,2010(3):62-64.
- [2] 王国朋.简支T梁桥的动力性能检测试验[J].山西交通科技,2009(5):35-36.
- [3] 唐怀平,王凤勤.大跨径桥梁自振特性试验的环境随机激振法[J].西南交通大学学报,2000(2):126-128.
- [4] 姚振纲,刘祖华.建筑结构试验[M].上海:同济大学出版社,1996.
- [5] JTG/T J21-2011,公路桥梁承载能力检测评定规程[S].

Analysis and Evaluation of Dynamic Test for Bridge Columns Damage

HAN Zhi-jiang¹, WANG Yi-yang², LV Li-ning¹

(1. Key Laboratory of Highway Construction and Maintenance Technique in Loess Area, Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan 030006, China; 2. College of Dayu, Hehai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Two ways of the environmental random excitation method and pulse excitation method are used to test the damaged pier by dynamic test technique. Through the comparison of the pier theoretical frequency calculation value with the pier measured frequency value, and lossless pier frequency value with the damaged pier frequency value, a comprehensive evaluation is conducted on the overall performance of the damaged pier, so a rapid detection method for the damaged pier is explored.

Key words: bridge columns; dynamic test; natural frequency