

在役基桩完整性检测技术影响因素分析

王 强

(青海交通职业技术学院, 西宁 810003)

摘 要:基桩是将桥梁上部荷载传递到地基的重要传力构件,其桩身的健全性将直接关系到桥梁的安全,特别是成桥的在役基桩,经过反复的冲击荷载(如车辆冲击等),其健全性更不容忽视。深入分析了国内外常用的在役基桩检测方法的优缺点,明确了在役基桩在激振和信号处理方面的影响,并提出相关应对措施。在‘双速度法’基础上提出了侧壁低应变检测法,并利用该方法对桩身波速的标定以及对桩身健全性判定,并对结果进行验证。结果表明:侧壁低应变检测法在在役基桩检测方面的检测精度高,为在役基桩的检测提供了可靠的检测手段。

关键词:在役基桩;完整性检测;双面透过法;侧壁低应变检测法

中图分类号:TU473

文献标志码:A

引 言

在桩基完整性检测技术中,低应变反射波法以其检测快、成本低、效果好及设备轻便而得到广泛应用^[1]。近年来,为加强基础结构工程基桩动力检测的管理,统一检测方法及技术规定,确保检测分析结果的质量,在公路、港口、建筑、铁路等行业我国先后制定了相应规程^[2-6]。规定在检测时,均是在桩顶施加冲击荷载。因此对于已经存在上部结构或运行中的基桩,因缺少桩顶的工作面,低应变反射波法不能完成对该类基桩的完整性测试。

另一方面,桩基在运行过程中由于地质灾害、受力变化、流体侵蚀、地震、撞击等原因,桩基础将会出现各种形式的病变,如应力破坏、钢筋锈蚀、混凝土老化等。对这样的病变应及时发现及时处理,对桩基完整性应及时评估排除隐患是非常必要的。此外,对于码头桩受到波浪、海水的侵蚀以及船舶的撞击等,在运行过程中老化较快,其检测、评估就显得更为重要。

基于在役基桩在运行过程中受到各种外界因素的影响而形成多种病害,当这些病害堆积后,将会对桩基结构产生不利影响,严重情况下将直接影响上部结构的

稳定性,进而危及上部结构的安全。

1 国内外研究现状

1.1 双速度法^[7-11]

对于既有结构下的基桩,弹性波在结构界面处或桩顶处会产生极为复杂的反射和透射,不仅产生下行波,而且产生上行波。在基桩低应变检测技术中,能够反映桩身阻抗或土阻力变化信息的上行应力波最为重要。

对于既有结构下的基桩完整性检测,应想办法获取上行应力波。为有效提取上行应力波,M. Johnson 在 1996 年提出沿桩身布置两个加速度传感器(图 1),同时测量两点加速度时域曲线,能够测试桩身波速和获取桩基部分有效上行波的目的。

优点:通过分离,得到和缺陷信息紧密相关的上行速度波,从而一定程度上减少上部结构的次生反射带来的影响,降低判读的难度。操作相对容易,费用低廉。

缺点:此种方法要求桩身要有一定的出露距离以安装传感器。此外,两个传感器之间的安装距离一般较近,试验取得的计算桩身缺陷或长度的弹性波波速与实际波速具有较大的偏差,这将会直接影响对桩基完整

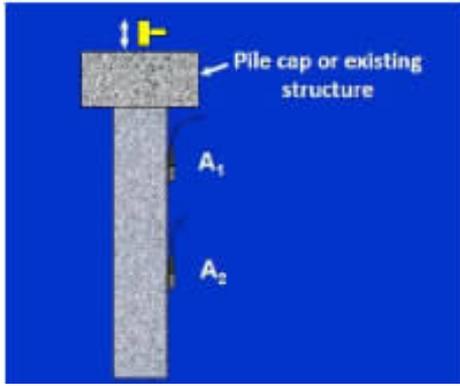


图1 双速度法

性的评定。

1.2 横波法(扭转波法)^[12]

针对大直径桩中一维纵波假设不成立的问题,提出了横波检测技术,也称为扭转剪切波法或弯曲波法(Bending Waves, BW)。该方法在桩侧通过横向激励产生一个扭转波,被安装在桩身同一侧的传感器所记录并分析(图2)。



图2 横波测试方法

我国 JGJ/T 193 - 1995《基桩低应变动力检测规程》第 4.4.8 条规定:对桩体浅部断裂的定性判断,可通过横向激振,比较同类桩横向振动特征的差异进行辅助判断。

优点:不同频率的扭转剪切波都以相同的波速传播,不会发生速度频散。另外,剪切波速远低于纵波波速,容易获得更小的盲区半径和更高的分辨率。此外,扭转波测桩所采用的平面假设将减弱桩径的影响,因此,对于大直径桩,扭转波一般也能够满足一维波动方程,从而能较好地解决大直径桩的小应变测试问题。

缺点:通过激振设备不能获取到稳定性好的剪切波。

1.3 超震波法^[13]

该方法具有反射波法和平行震测法的综合特征。测试中将多个接收器沿桩身外侧放置(一般共线等距)

(图3)。在桩顶或桩身敲击,测量质点速度随时间变化曲线。变换深度重复上述过程即可获得直达波和反射波的到达时间图,直达波到达的波峰点连线和反射波的波峰点连线交点即为桩底或缺陷点(图4)。

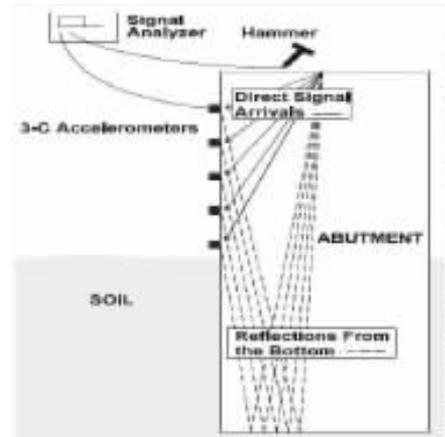


图3 超震波法

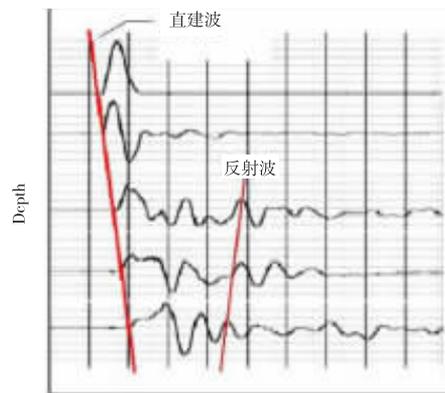


图4 超震波法实测曲线

优点:实践表明,超震波法对于单基础测量效果较理想,比反射波法可信度高。

缺点:桩身需要较大的暴露距离以安置多组传感器。

基于目前国内外对在役基桩的检测的优缺点,提出了针对在役基桩的侧壁低应变检测法。

2 侧壁低应变检测法

该方法继承了“双速度法”的优点,通过在侧壁安装两个加速度传感器,获取从桩基部分关系密切的上行波(图5),其基本原理与新设基桩的完整性检测相同,所不同的是:

- (1)传感器安装在桩身的侧壁。
- (2)激振在桩身侧壁。
- (3)通过双面透过法获取待测桩身的波速(图6)。

对于在役基桩,其服役的年限不同,其桩身的波速也存在差异,因此,通过有效的实测桩身的波速,可以准

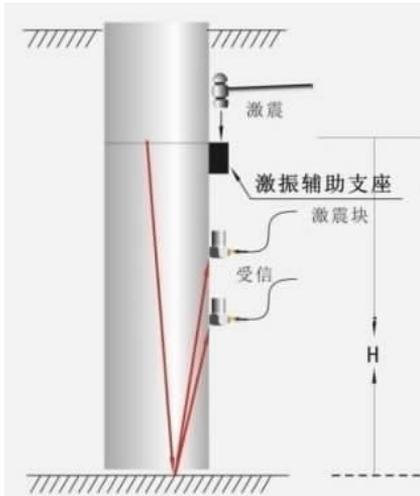


图 5 侧壁低应变检测法

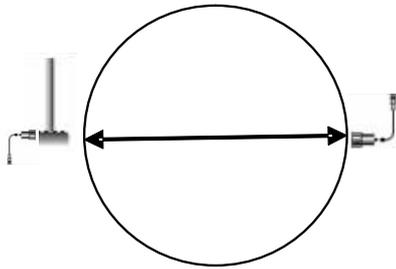


图 6 侧壁低应变检测法波速测试

确判断桩身缺陷的深度。然而对外露部分进行波速标定的结果与桩身的速度具有一定的差异,根据 ASTM C 1383-98 指出,桩身的波速应为透过法/传播法的 0.96 倍。在准确知道桩身波速的前提下,即可准确判定桩身的缺陷的具体位置。

3 在役基桩检测主要影响因素

影响在役基桩完整性检测精度的主要因素中,除了包含新设基桩检测各影响因素外,由于承台和顶部约束的存在,还存在如下不利的影响因素:

3.1 激振信号质量差

无论是在承台上部激振还是在桩侧激振,其激振信号的质量均会大幅降低。

(1) 桩顶激振:尽管激振信号本身与新设基桩相同,但激发的能量仅有一小部分能够传递到基桩,其余的大部分能量均分散传递到承台内部。同时,由于承台内部弹性波能量的折、反射,使得入射到基桩内的弹性波持续时间延长,进一步降低了信号的品质。

(2) 桩侧激振:由于在检测中使用的弹性波 P 波需要沿桩长方向激发信号,因此无法通过直接敲击桩身的方法激振。通常需要借助激振块等工具,通过敲击激振

块将能量传递到基桩上。这样,激发的能量受到限制,而且由于激振块本身的振动,使得激振持续时间增加,品质下降,如图 7 所示。

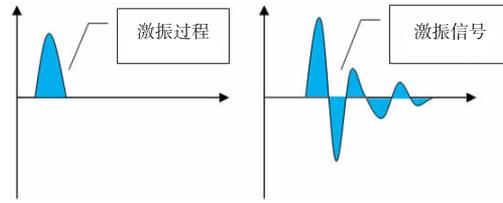


图 7 激振信号比较

3.2 承台的反射

对于新设基桩,反射信号只可能来自激振点的下部,即桩身。而在桩身侧壁激发的信号,不仅可能来自激振点下部桩身,而且一定会来自激振点上部的承台。这两种信号互相干扰,会给数据分析带来很大的困难。

因此,如何提高激振信号的品质和降低承台反射信号的影响是决定在役基桩完整性检测技术的重要因素。

4 相应对策

4.1 提高检测信号的质量

结合低应变检测技术原理及相关的激振方式,可以从两个方面提高激振信号的质量,即激振方式的优化(硬件技术)和自由振动信号的抑制(软件技术)。

4.1.1 激振方式的优化

对于桩身激振,采用特制的激振块和与桩身的粘结方式,具有以下特点:

- (1) 敲击时激振块的声响较小,不易引起桩身共鸣。
- (2) 敲击后激振块与桩身及时脱离,避免持续影响桩身。

4.1.2 自由振动信号的抑制^[14]

采用锤击等方式激振时,被击打部位会产生一定时间的振动。该振动又作为新的振动源,使得激发信号的持续时间远长于击打的时间(激振过程)。对于有承台的在役基桩,该现象尤其明显。

激振产生的残留振动可以表示为:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2n \frac{dx}{dt} + \omega_n^2 x = 0 \tag{1}$$

式中: ω_n 为系统固有圆频率; n 为衰减系数。

激振 ($t > t_0$) 后其自由振动的响应可以表示为:

$$x = A_0 e^{-nt} \sin(\sqrt{\omega_n^2 - n^2}t + \varphi) \tag{2}$$

式中: A_0 为初始振幅, φ 为相位角。

根据式(2)可以知道,残留信号的振幅按几何级数衰减,可回归出衰减信号的参数(图 8)。

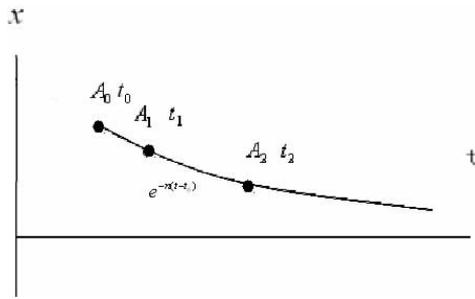


图8 自由衰减包络线

值得说明的是,在激振后的自由振动,其周期特性及衰减特性均只与系统本身的特性有关,为一固定值。因此,对于测试的信号,减去回归出的衰减信号,从理论上即可消除残留振动的影响。

4.2 降低承台反射信号的影响

承台的反射与桩身下部(桩底或缺陷)的反射的最大区别在于波的方向不同。根据这一特性,采用半波移动技术^[15],通过改变传感器的位置关系,从而削减从上部承台处反射的信号,增强从桩身下部反射的信号。由于上部承台的反射信号与下部桩身的反射信号之间存在相位差,因此,通过两个检波传感器的位置和控制激振波长,使传感器间距与激振信号的半波长一致,就可以很好地削减承台对信号的不利影响。

如图9所示,以反射波形为基准,移动激振位置。移动的距离(时间轴)如果正好为激振周期的1/2时,这两个波形叠加后激振信号的自由振动部分能够被较大消除。

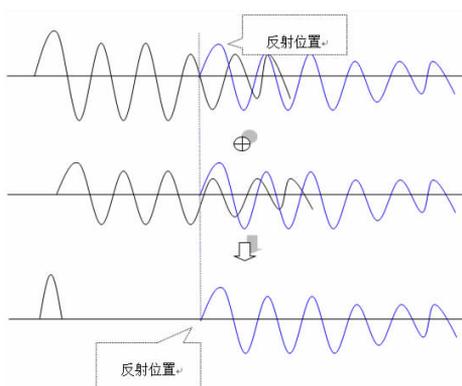


图9 半波移动法的概念

实际上,反射时刻是未知的。因此,其移动距离可通过公式确定:

$$\Delta H = \frac{T_v \cdot V_p}{4} \quad (3)$$

其中, T_v 为激振信号自由振动的卓越频率, V_p 为P波弹性波速。

同时,结合变换敲击锤,可以产生多种波长的测试

信号,这样能够更直观的对反射波形进行判读,可以更好地测试桩身的完整性及桩长。

5 应用实例

5.1 试验概要

试验位于甘肃省某公路,利用侧壁低应变检测法对在役基桩进行现场检测。

5.2 现场测试及验证

被测对象设计桩径为1.20 m,设计桩长为17 m,强度为C30,在测试中,利用双面透过法对该桩身进行波速标定(通过标定,波速为4.03 km/s,并根据关系换算为基桩缺陷测试波速为3.87 km/s,图10)。同时,进行完整性测试采用桩侧激振侧壁接收的方式。

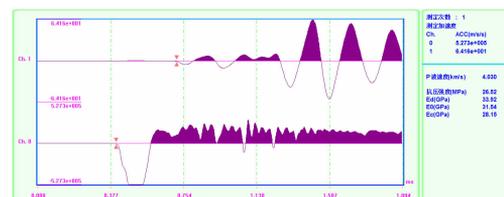


图10 波速标定

经过测试,并对信号进行滤波、增幅等信号处理,发现在距离测试位置约7.0 m的位置出现了与首波相位相同且同相增强的情况,根据低应变测桩的基本原理,判定在该位置出现缩径的现象(图11),为了验证测试结果的可靠性,对测试位置进行开挖。

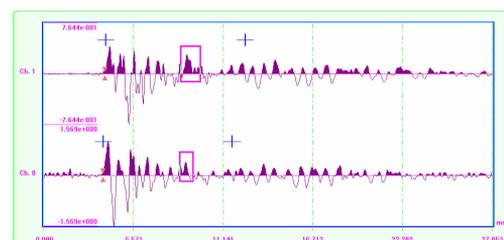


图11 测试波形图结果

5.3 试验结果分析

根据验证结果,利用双面透过法的方式对桩身波速进行准确标定,并利用测试结果能够准确计算出桩身缺陷深度,发现桩身缺陷。通过现场开挖的结果,测试结果与实际缺陷吻合较好,进一步说明利用侧壁低应变检测法能够准确的测试在役基桩的完整性。

6 结束语

桥梁下部结构的基桩是传递桥梁荷载到地基的重要构件,其桩身的健全性与桥梁的整体安全息息相关,特别是在役基桩,经过反复的冲击荷载(如地质灾害、流

体侵蚀、撞击等),其健全性更是重中之重。

本文通过分析目前国内外常用的在役基桩检测方法优缺点,同时在“双速度法”的基础上针对在役基桩提出了侧壁低应变检测法,分析了在役基桩检测过程中的主要影响因素,针对这些影响因素,提出了从激振和信号处理方面降低其影响的方法。在一定程度上提高了在役基桩检测技术的检测精度。同时利用该方法对在役基桩进行现场测试并验证,进一步说明了该方法的精准度,为在役基桩的检测提供了可靠的检测手段。

参考文献:

- [1] 柴华友,刘明贵,白世伟,等.应力波在承台-桩系统中传播数值分析[J].岩土工程学报,2003,25(5):624-628.
- [2] JTG/T F81-01-2004,公路工程基桩动测技术规程[S].
- [3] JTJ249-2001,港口工程桩基动力检测规程[S].
- [4] JTJ255-2002,港口工程基桩静载荷试验规程[S].
- [5] JGJ106-2003,建筑基桩检测技术规范[S].
- [6] TB10218-2008,铁路工程基桩检测技术规程[S].
- [7] 韩亮.既有基础下基桩完整性双速度测试技术[J].建筑结构,2007(S1):37-39.
- [8] 赵建夏,胡晓泉.桩基低应变完整性测试的双速度分析[J].岩土工程界,2001(6):34-36.
- [9] 蔡以智.桩基低应变完整性测试的双速度分析[J].中国测试技术,2004(3):26-27.
- [10] 蔡以智,胡晓泉.桩基低应变完整性测试的双速度分析[J].岩土工程界,2001(6):34-36.
- [11] 唐勇.双速度法检测基桩完整性试验研究[J].路基工程界,2012(6):115-117.
- [12] JGJ/T93-95,基桩低应变动力检测规程[S].
- [13] 高飞,姜卫方.在役结构基桩完整性检测新技术[J].水运工程,2010,441(5):37-40.
- [14] 吴佳晔,张高强,吴曾炜.消除冲击弹性波激振残留信号以识别反射波信号的方法[P].中华专利:ZL2009 10082851.4, 2011-01-05.
- [15] 吴佳晔.土木工程检测与测试[M].北京:高等教育出版社,2015.

The Factors Analysis of Piles in Service Integrity Testing Technology

WANG Qiang

(Qinghai Communications Technical College, Xining 810003, China)

Abstract: Foundation pile is the important force transmission member which is transmitted the upper bridge load to the foundation. The integrity of pile will be directly related to the safety of the bridge, and it can not be ignored especially in service-based bridge pile after repeated impact load (vehicle shock). In this paper, the advantages and disadvantages of testing methods commonly used at home and abroad in service pile are analyzed, the clear influence of pile foundation in service in excitation and signal processing are found, and the countermeasures are proposed. The sidewalls of low strain detection method is proposed based on “double rate method”. The wave velocity of pile is calibrated and the integrity of pile is judged using the sidewalls of low strain detection method, besides, the results are verified. The results show low sidewall strain detection method in the detection accuracy of in-service foundation pile detection is high. It provides important and reliable means for the detection of in-service piles.

Key words: piles in service; integrity testing; duplex transmission method; sidewall low strain method