

低应变法在基桩完整性检测中的运用研究

张龙, 孙亚霖

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要: 低应变法作为基桩完整性检测的常用方法在工程中运用较广泛。文中通过对低应变法原理及检测方法的分析, 阐述基桩缺陷判断方法; 结合具体工程实例进行取芯验证, 说明低应变法在基桩无损检测方面的准确性及高效性, 同时通过对比分析低应变法在基桩完整性检测方面的适用性及局限性。

关键词: 桥梁; 低应变法; 基桩; 完整性检测

中图分类号: U446.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)05-0127-03

基桩作为隐蔽性工程, 其施工质量控制往往存在疏漏, 需借助辅助性手段进行控制。目前较常用的基桩完整性检测手段包括低应变法、声波透射法、钻孔取芯法、高应变法等, 其中低应变法因操作简便、检测效率高, 使用较广泛。该文从低应变法的原理及基本假设出发, 阐述基桩缺陷的判定方法, 通过工程实例中低应变法与钻孔取芯法结果对比, 说明低应变法用于基桩完整性检测的准确性和局限性。

1 低应变法检测原理

1.1 低应变法基本原理

当前, 低应变法主要采用低能量的瞬态激振使桩在弹性范围内作低幅度振动, 通过速度传感器或加速度传感器接收初始信号源和反射信号, 结合波动理论判断桩的完整性。弹性波在桩中的传播与反射是应力波的基本特征, 工程中的基桩往往长度远大于桩径, 故可将桩看作一维的杆件。当在桩顶端产生瞬时击振时, 受激发的应力波将沿着桩向下传递, 由于桩与周围土的波阻抗差异较大, 大部分能量波会在桩中继续传播, 在桩身传播的弹性波可用一维波动方程计算。如图 1 所示, 假设桩长为 L , 横截面积为 A , 弹性模量为 E , 质量密度为 ρ , 弹性波速为 c , 广义波阻抗 $Z = A\rho c$, 推导可得到桩的古典一维波动方程。

以单元 dx 为对象, 建立 x 方向的平衡方程:

$$\sigma_x A - \left(\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx \right) A = -\rho A dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

由材料力学理论得:

$$\sigma_x = E \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = E \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (2)$$

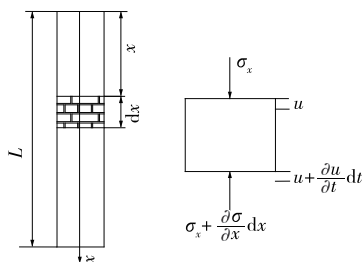


图 1 一维波动方程示意图

将式(2)代入式(1), 得:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

令 $c^2 = E/\rho$, 得到一维波动方程:

$$c^2 \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (3)$$

1.2 低应变法的基本假设

低应变法的运用存在假设前提, 主要为: 1) 桩是一维、连续的均质介质; 2) 不考虑桩周边土的影响; 3) 不考虑桩与土之间耦合面的影响; 4) 振源假定为点振源; 5) 应力波在桩中传播是竖直方向的。

1.3 基桩缺陷判断

假设桩中某处阻抗发生变化, 当应力波从介质 1 (阻抗为 Z_1) 进入介质 2 (阻抗为 Z_2) 时, 将产生速度反射波和透射波。令桩身质量完好系数 $n = Z_1/Z_2$, 则有:

$$v_r = -FV_1, F = \frac{1-n}{1+n}$$

$$v_t = nTV_1, T = \frac{2}{1+n}$$

式中: v_r 为反射速度; F 为反射系数; v_t 为透射速度; T 为透射系数。

依据以上公式可根据反射系数 F 的正负值确定桩身阻抗的变化情况: $F < 0$ 时, $Z_1 > Z_2$, 入射波与反射波的相位相同, 可判定桩身的阻抗由大变小, 桩身可能存在夹泥、缩径、离析及断桩等缺陷; $F = 0$ 时, $Z_1 = Z_2$, 只有桩底反射信号, 表示桩阻抗无变化面; $F > 0$ 时, $Z_1 < Z_2$, 入射波与反射波的相位相反, 可判定桩身的阻抗由小变大, 桩身可能存在扩径情况。

缺陷程度判断可依据缺陷反射幅值。缺陷位置可根据以下公式确定:

$$L_x = c \frac{t_x}{2}$$

式中: L_x 为缺陷位置(桩长度方向); c 为平均波速; t_x 为波的走时。

2 工程应用实例

2.1 实例 1

某地铁跨线桥桥墩基桩编号 A4-3, 设计桩长 36 m, 桩径 1.2 m, 砼设计等级为 C40, 支承类型为摩擦型灌注桩。根据低应变检测结果(见图 2), 初步判断该试验桩于 4 m 处存在明显缺陷。

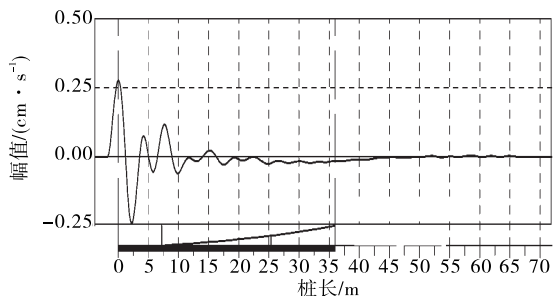


图 2 A4-3 号桩时域曲线

对该试验桩进行抽芯验证, 结果显示: 钻孔段桩身局部芯样见轻度蜂窝孔洞、沟槽, 其中孔深 4.52~4.97 m 芯样胶结差, 16.55~18.16 m 芯样夹泥, 局部夹有碎石, 有快进和掉钻现象; 其余砼芯连续、完整, 胶结紧密, 骨料分布均匀, 芯样呈长、短柱状, 断口吻合(见图 3)。综合低应变法检测结果评为Ⅳ类桩, 不满足设计要求。

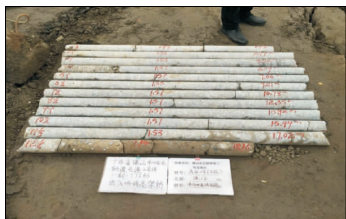


图 3 A4-3 号桩芯样

图 2 与图 3 均显示该试验桩在 4 m 左右处存在缺陷, 说明低应变法对于缺陷位置判断准确。通过图 2 的波形曲线可看出 4 m 处存在异常同相位信号, 即缺陷反应, 但无法通过波形分析确定缺陷的长度(定量)和缺陷类型。图 3 抽芯结果显示 16.55~18.16 m 芯样存在夹泥, 但这在图 2 中未得到体现, 主要是因为二次缺陷受首次缺陷应力波反射传递的影响往往较难发现。

2.2 实例 2

对某城市高速公路桥桩 B40-3 号基桩进行低应变法检测, 设计桩长 32.7 m, 桩径 1.25 m, 砼设计等级为 C40, 支承类型为嵌岩型灌注桩。检测结果显示距桩顶 8 m 处存在明显缺陷(见图 4)。

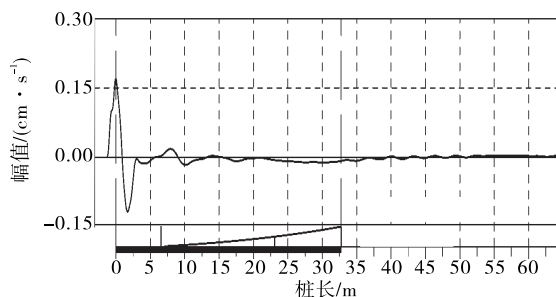


图 4 B40-3 号桩时域曲线

对该基桩进行钻孔取芯检测, 结果显示: 孔深 7.50~7.77 m 芯样夹泥, 31.18~31.36 m 芯样表面夹泥; 其余砼芯连续、完整、胶结紧密, 骨料分布均匀, 芯样呈长、短柱状, 断口吻合(见图 5)。砼抗压强度 35.2 MPa, 小于设计值。综合低应变法检测结果评为Ⅳ类桩, 不满足设计要求。



图 5 B40-3 号桩芯样

低应变检测结果与抽芯结果均显示基桩在 8 m 左右处存在缺陷, 说明低应变检测结果准确。该桩取芯结果显示 7.50~7.77 和 31.18~31.36 m 芯样存在夹泥缺陷, 对比图 4, 仅能分析得出上部的首次缺陷, 而下部二次缺陷难以发现。该桩为嵌岩桩, 交界面两者波阻抗较接近, 在低应变时域曲线中未见明显桩底反射。若存在明显桩底反射, 即可判定桩底存在沉渣或破碎情况。但沉渣厚度无法通过波形

曲线分析得出。

3 低应变法的局限性

3.1 缺陷的定量

通过低应变时域曲线的幅值大小判定缺陷程度建立在试验桩的密度和波速为定值的前提下,考虑的是截面的变化导致波阻抗变化。在实际检测中,受桩自身缺陷及地质条件的影响,对于缺陷的定量分析往往较难实现。

3.2 缺陷类型的区分

低应变法时域曲线分析中依据反射波和入射波的相位关系判定缺陷类型,而断桩、夹泥、缩径和空洞等情况的时域曲线基本一致,很难根据曲线判断这几类缺陷。

3.3 利用波速推算桩身强度

低应变法求出的波速是整桩的平均波速,平均波速与实际波速的吻合性主要取决于设计桩长和桩底反射时间,不能单纯依据波速与砼强度的正比关系确定桩身强度,还应结合工程范围内相当一部分测试桩的平均波速来辅助估算砼的强度。

3.4 桩底沉渣厚度的判断

桩底与嵌岩的交界面会产生较强的与入射波相位相反的反射波,该反射波将干扰桩底反射波及是否沉渣的判断。因此,低应变法无法定量判断桩底沉渣厚度。

3.5 单桩承载力的判断

低应变法只能定性判断基桩的完整性,无法确定单桩的承载力大小。单桩承载力大小与桩自身强度、桩周土性质、持力层等因素有关。

4 结语

低应变法检测基桩完整性的主要特点在于检测效率高、操作简单,可满足快速普查的需要,虽然在适用范围上存在一定局限性,但仍然是目前基桩完整性检测的最常用方法之一。

对于基桩质量的准确评定需结合多种试验方法,对于波形较复杂的情况,应结合钻孔取芯结果综合判定,以免造成桩质量错误评定。另外,低应变法波形数据需工程技术人员结合设计和地质资料综合判断,对工程经验有较高要求。

参考文献:

- [1] JTG/T F81-01-2004,公路工程基桩动测技术规程[S].
- [2] JGJ 106-2014,建筑基桩检测技术规范[S].
- [3] 柯宅邦,刘东甲.低应变反射波法测桩的轴对称问题数值计算[J].岩土工程学报,2006,28(12).
- [4] 马建,孟新秋,刘丽.大直径长桩低应变检测若干问题探讨[J].土工基础,2017,31(5).
- [5] 刘润,嵯瑞花,闫澍旺,等.动力打桩一维波动方程的改进及其工程应用[J].岩土力学,2004,25(增刊).
- [6] 张丽琴,王家映,严德天.一维波动方程波阻抗反演的同伦方法[J].地球物理学报,2004,47(6).
- [7] 范留明.非均匀层状介质一维波动方程精确解的有限差分算法[J].岩土力学,2013,34(9).
- [8] 王颖,史旭光.欧拉-拉格朗日方程在一维波动方程中的应用[J].物理与工程,2017,27(6).

收稿日期:2018-04-12

(上接第126页)

- [2] 徐向锋.孔道压浆性能试验及施工质量的研究[D].南京:东南大学,2005.
- [3] 冯小伟.孔道压浆材料试验及技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [4] 姜灏,刘海卿.回弹法对在役钢筋混凝土结构的健康检测[J].辽宁工程技术大学学报,2005,24(增刊).
- [5] 王磊,张建仁,张克波.回弹法和钻芯法检测劣化桥梁混凝土强度相关性研究[J].中外公路,2010,30(2).
- [6] Odile Abraham, Phillippe Cote. Impact-echo thickness frequency profiles for detection of voids in tendon ducts [J]. ACI Structural Journal, 2002, 99(3).
- [7] C Colla. Improving the accuracy of impact-echo in testing post-tensioning ducts [J]. Review of Quantitative

Nondestructive Evaluation, 2003(22).

- [8] R Muldoon, A Chalker, M C Forde, et al. Identifying voids in plastic ducts in post-tensioning prestressed concrete members by resonant frequency of impact echo SIBIE and tomography [J]. Construction & Building Materials, 2007, 21(3).
- [9] 齐广志. PC箱梁桥竖向预应力张拉力与压浆密实性无损检测技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- [10] 季文洪, 杨超. 国外预应力孔道压浆质量检测实践: 多阵列探地雷达法 [J]. 世界桥梁, 2008(2).
- [11] 徐义标, 张峰, 曹原, 等. 波纹管孔道压浆密实度定量检测的试验研究 [J]. 中外公路, 2015, 35(3).

收稿日期:2018-02-10