

混凝土灌注桩低应变动态诊断方法应用

李旭¹, 郝文璐², 李微¹(¹东南大学土木学院, 南京 210096; ²南京地下铁道有限责任公司运营分公司, 南京 210045)

[摘 要] 阐述了目前基桩检测中常用的反射波法和声波透射法的原理和检测方法, 指出了这两种方法检测基桩完整性的适用性和局限性, 并针对宁杭高速公路基桩检测中遇到问题进行实例分析。

[关键词] 低应变; 反射波法; 声波透射法; 基桩检测

[中图分类号] TU473 [文献标识码] A [文章编号] 1005 - 6270(2004)02 - 0039 - 03

Application Of Low Strain Dynamic Testing On Concrete Bored Pile

LI Xu HAO Wen - Lu LI Wei

前言

桩基础是建筑结构工程重要的基础形式之一, 由于工程地质及施工技术等方面的原因, 部分桩常出现断裂、离析、夹泥、缩颈, 严重影响基桩的承载力。为了保证工程质量, 需要对基桩进行检测。本文针对基桩低应变动态检测的低应变反射波法和声波透射法, 结合工程实践进行分析, 以供参考。

1 反射波法

1.1 反射波法理论

用来检测桩完整性的低应变反射波法诊断技术是目前低应变动态检测的主要方法之一。它的主要检测方法是通过激励锤在桩顶施加激振力, 在桩顶产生压缩波。该波沿桩身向下传播过程中, 遇到不连续界面、截面大小发生变化至桩底时, 由于波阻抗发生变化, 将产生反射波。利用传感器、信号线及数据采集系统将反射波的时程、幅值和波形特征记录下来, 然后通过分析系统来判定桩的完整性情况。

反射波法的理论基础是一维波动理论, 当弹性波沿着垂直截面的方向从一种介质到另一阻抗不同的介质, 在界面将会产生扰动, 分别以反射波和透射波在两种介质中传播。

若杆的一维波动微分方程

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (1)$$

的通解采用行波形式为

$$S = f(x - ct) + g(x + ct) \quad (2)$$

并令桩的波阻抗

$$Z = cA \quad (3)$$

其中 ρ 为桩的质量密度, c 为波速, A 为面积, 根据阻抗发生变化界面处的连续条件可得:

$$V_R = V_I \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right) \quad (4)$$

$$V_T = V_I \left(\frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \right) \quad (5)$$

其中 Z_1 和 Z_2 分别桩界面变化处的上、下部的阻抗。

当 V_R 与 V_I 同号, 说明反射波和入射波同相位, 即 $Z_1 > Z_2$, 桩阻抗由大变小, 此处桩发生了断裂、离析、夹泥、缩颈或摩擦桩底反射。

当 V_R 与 V_I 异号, 说明反射波和入射波反相位, 即 $Z_2 > Z_1$, 桩阻抗由小变大, 此处桩发生了嵌岩桩底反射或扩颈。

1.2 反射波法局限性

反射波法测试简单, 资料判读直观, 因而被广泛用来检测桩基完整性, 但由于实际工程的复杂性和多变性, 反射波法在实际应用中往往有很多的局限性。

1.2.1 反射波法对桩基浅部缺陷难以判断, 距桩顶 2~3 倍直径范围内还存在着测试盲区。首先这是由于反射波法是通过记录和分析子波与桩身反射系数和累计信号来完成, 然而敲击桩顶所产生的弹性波需要一定距离才能产生, 如果顶端缺陷距离桩顶太短, 子波还不能产生, 因而有测试盲区的存在。这时桩顶段的运动模型应为刚体阻尼振动; 其次在理论上还存在不足。反射波法是建立在桩身一维波动理论基础上的。但对于桩顶附近的缺陷, 由于振源距缺陷之间距离太短, 一维应力波理论已不能适用, 此时入射波和反射波均应按三维应力波考虑。波速也要相应提高, 据文献^[1]波速须为正常波速的 1.16~1.2 倍, 这也是浅部缺陷实际开挖的深度较计算深度深的原因。其三, 如果传感器频响不够也不能正确测出浅部缺陷, 这是因为浅层缺陷所致的固有频率为: $f = [n +$

[收稿日期] 2004-04-06

[作者简介] 李旭, 男(1977~), 东南大学土木学院硕士研究生。

$\arctg a/] * c/ 2a$ 式中 a 为缺陷严重程度 (a 取值 $0 \sim$, 0 表示断桩, a 表示大扩径), a 缺陷距桩顶的距离, 如 $a = 1.5\text{m}$, $a = 0$, $c = 3700\text{米/秒}$, 则 $f = 1233.33\text{HZ}$, 这就表明如果速度传感器频感采用 1200HZ 则无法测出缺陷。

1.2.2 当桩身有多种缺陷, 反射波法不能对缺陷准确判断。这是由于应力波遇到缺陷界面就会产生多次反射, 这些反射波经过叠加后波形变得复杂, 很难进行分析。此外, 如果上部有较大的扩径, 那么扩径下面的缺陷很难检测到, 这是由于扩径处的透射波大为减弱, 在实测中只能看到在扩径处的多次反射。

1.2.3 尺寸效应对检测影响。应变法是将桩作为一维杆件, 忽略了桩中质点横向惯性效应, 这对于横向尺寸远小于桩长的桩来讲, 是完全可以的, 但对大直径的桩必须考虑横向效应所引起的波的几何弥散。在实际测试中, 如果采用高频振源, 桩身的几何弥散效应造成的波速下降将十分明显, 几何弥散效应还会使波形拉长拉平, 局部产生振荡等情况, 必然对波形分析产生影响。

1.2.4 沿桩身发生缓慢缩径或扩径, 反射波法无法检测到。这是由于上下界面的阻抗变化小, 由波动理论可知反射波 V_R 基本上等于 0 , 因此在实测信号中, 反射波幅值变化很小, 难以进行有效地分析。

1.2.5 对于在同一界面发生扩径和离析或夹泥现象, 应力波法有时难以检测。由于扩径导致阻抗增大, 但是离析或夹泥同时使阻抗变小, 一增一减, 阻抗就变化不大了, 这样就会导致桩的误判。

1.2.6 桩周土阻力的影响。桩周土对桩身的作用可分为土体静阻力和土体动阻力两部分。对于反射波法造成的小扰动, 静土阻力造成的影响小, 但是动土阻力造成的影响却很大。如果桩周土是不均匀的, 在软硬土交界处所形成的反射波与桩身形成的反射波会使分析人员产生混淆。如果桩周土土质很好, 将使应力波迅速衰减, 无法检测到桩的有效深度。因此在分析时必须考虑桩的地质情况。

1.2.7 反射波法难以对有微裂缝的桩做出准确判断。反射波法采用的是手锤敲击, 属于低能量高频率的脉冲振动信号, 穿透能力有限, 因此当入射波到达水平裂缝处时将无法穿越, 反映在波形图上的曲线与大裂缝的反射信号几乎没有差别。这样就容易误判为桩有严重缺陷, 造成不必要的经济浪费。

2 声波透射法

2.1 声波透射法原理

声波透射法适用于检测桩身直径大于 0.6m 的混凝土灌注桩的完整性。它的主要原理是: 在被测桩内预埋若干根竖向声测管 (桩径 $0.6\text{m} \sim 1.0\text{m}$ 埋设两根管, 桩径 $1.0\text{m} \sim 2.5\text{m}$ 埋设三根管, 桩径 2.5m 以上埋设四根管) 作为检测通道, 将超声脉冲发射换能器与接收换能器置于声测管中, 管中注满清水作为耦合剂, 由声波发射器发出一系列电脉冲信号, 该信号穿过待测的桩身砼, 经接收换能器接收并转换为电信号, 由仪器接收, 并对接收信号的各种声参量进行综合分析, 判读出超声波穿过混凝土的声时、接收波首波的波幅以及接收波主频等参数相对变化来对可桩身混凝土的完整性、内部缺陷性质、位置以及桩混凝土总体均匀性等级等做出判断, 完成检测工作。

在钻孔灌注桩的检测中主要是依据四个物理量来判断桩身缺陷: (1) 声时值, 当桩内有夹泥缺陷, 其声阻抗明显低于砼的声阻抗, 因此超声脉冲穿过缺陷或绕过缺陷, 声时值增大, 增大的数值与缺陷尺度大小有关; (2) 波幅, 超声穿过缺陷区时, 部分声能被吸收或散射, 因此波幅将降低; (3) 接受信号的频率变化, 超声穿过缺陷区时, 声脉冲中的高频部分首先被衰减, 导致接受信号主频下降, 其下降百分率与缺陷的严重程度有关; (4) 接受波形的畸变, 这是由于缺陷区的干扰, 部分超声脉冲波被多次反射滞后造成的。

2.2 声波透射法的测试方法

现以双孔检测为例来说明一下声波透射法采用的测试方法。

双孔检测方法有平测法、斜测法和扇面测三种。平测法是将发射和接收两换能器始终保持在同标高上, 进行测试, 通过平测可知道缺陷在垂直方向上的部位和程度, 但不能测出水平方向上缺陷的部位。斜测法是发射和接收两个换能器不在同一标高上, 进行测试。斜测法可以作为平测法的补充, 检测出水平方向上的缺陷。一般来讲, 在检测砼的裂缝时, 多采用斜测法。

扇形测法即固定某一固定换能器, 将另一换能器等间距移动, 两换能器高程差不停变换, 形成一扇面。该方法操作复杂且数据处理较麻烦, 一般对可能有较严重缺陷的桩采用此法。

3 工程实例

工程实例 1 (见图 1):

由图 1 可见, 该桩波形规则衰减, 无缺陷发射波存在, 桩底反射清晰, 波速正常, 桩身完好。

工程实例 2 (见图 2):

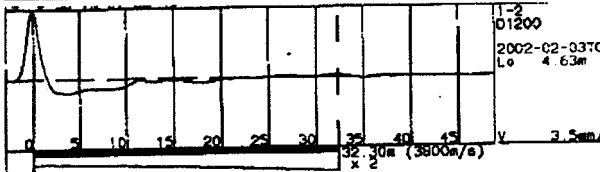


图1 桩基反射曲线图

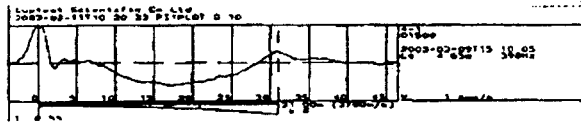


图2 桩基反射曲线图

某摩擦桩,直径 1.5m,桩长 31m。如图 2 所示,该桩桩底波形有异常,对该桩进行钻孔取芯,桩底沉渣达 50cm。可见反射波法能检查出沉渣缺陷,但由于反射波法对沉渣厚度的识别很困难,无法判断沉渣厚度是否大于 30cm,而规程上规定摩擦桩的沉渣厚度不应大于 30cm,故反射波法对桩的级别有可能造成误判,还需结合其它方法进行检验。

工程实例 3(见图 3):

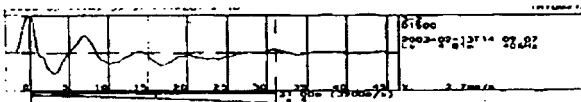


图3 桩基反射曲线图

该桩直径 1.2m,桩长 32.1m,如图 3 所示,该桩波形规则衰减,桩底反射可分辨,波速正常,反射波在 12m 左右存在轻微缺陷,故在此处桩身有轻微缺陷。此桩可以作为工程桩使用。

工程实例 4(见图 4):

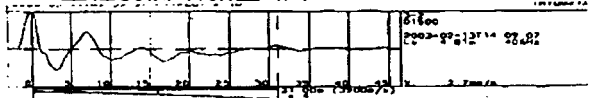


图4 桩基反射曲线图

由图 4 可知,曲线有多次反射,这表明在浅部有多次反射,由于有扩径的反射,无法检测下部的桩身,对该桩开挖后发现在 2m 左右有大扩径。为了检测该桩的质量,用大应变进行检测,桩身完好,承载力满足要求。

工程实例 5(见图 5、图 6、图 7):

通过对以上三图分析我们可知在 BC 测区,除振幅曲线在 19m 处低于临界值,其它两曲线正常,在 AB 测区和 AC 测区表明:在桩顶下 18~20m 范围,声速

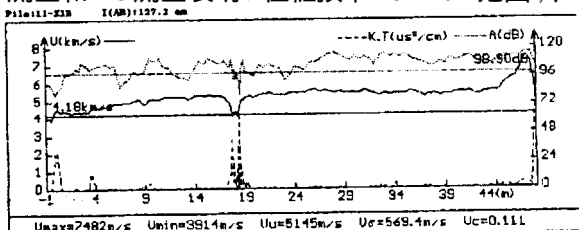


图5 声波透射曲线图 AB 测区

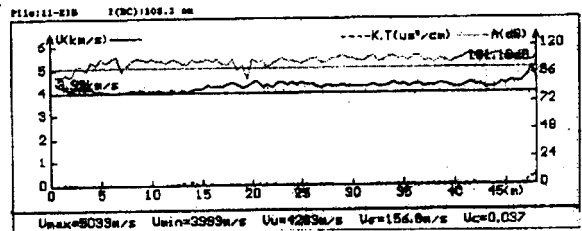


图6 声波透射曲线图 CD 测区

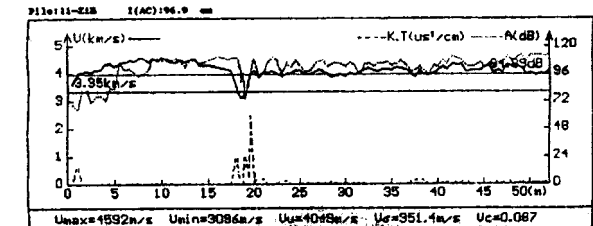


图7 声波透射曲线图 AC 测区

值与波幅值均低于其临界值,且 $K \cdot T$ 值在该处也发生畸变,故判定该处砼有局部离析。为进一步验证该桩砼的质量缺陷,对该桩进行了钻探取芯 25m。经证实该处在 17.8~19.4m 范围内充填较多泥质,砼胶结较差。19.4~25m 所取芯样胶结良好、完整。

4 结论

反射波法动力测桩有诸多优点,但也存在缺点和不足。基桩反射波法设备简便、速度快、收费低、检测面大、不受场地条件限制等优点,成为基桩质量检测的重要手段。其局限性不能定量评判缺陷程度,检测有效深度受到限制;不能有效检测多重缺陷,不能提供基桩承载力等。对低应变法检测出有问题的桩,在测试上可以利用沿桩身抽芯检测方法、高应变或者静载试验进行补充测试;在分析上可以时域分析与频域分析相结合。

使用声波透射法可以对桩身不同的测面布密点进行检测,能直观而准确地检测出桩内混凝土中因灌注质量问题所造成的夹层或断桩、孔洞、蜂窝、离析等内部缺陷,对桩身完整性的评价更为客观、准确。它的局限性在于必须预埋声测管,检测缺乏随机性;判定的缺陷情况只能是定性的,因此有时要采用钻芯取样补充检测。

总之,由于灌注桩的复杂性,因此要根据实际情况采用合适的测试方法进行检测,来达到检测的目的。

参考文献

- [1] 王雪峰,吴世明.基桩动测技术.科学出版社
- [2] 基桩低应变动力检测规程.(JG/T 93-95) 中国建筑工业出版社
- [3] 国家建筑工程质量监督检测中心.混凝土无损检测技术.中国建材工业出版社
- [4] 汪凤泉.基础结构动态诊断.江苏科学技术出版社