

初探低应变反射波法在桩基检测中的实践

林道俊¹ 刘济鹏¹ 韩彦芳²

(1. 江西应用技术职业学院, 江西赣州 341000; 2. 赣州市东方建筑设计院, 江西赣州 341000)

【摘要】 低应变反射波法是近年来应用比较广泛的桩基础检测技术。针对基础施工过程中常见的断桩、缩颈、扩颈、离析等质量问题, 简要介绍了低应变反射波法的基本原理。同时结合现场数据采集和室内试验数据分析, 对低应变反射波法桩基检测进行了初步探讨, 并从工程实践中得到了相应的验证。

【关键词】 桩基检测; 低应变反射波法; 完整性; 缺陷判定

【中图分类号】 TU 473

【文献标识码】 B

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2013. 06. 005

Low Strain Reflected Wave Method in Practice of Pile Testing

Lin Daojun¹ Liu Jipeng¹ Han Yanfang²

(1. Jiangxi College of Applied Technology, Ganzhou 341000, Jiangxi, China;

2. The Ganzhou Oriental Institute of Architectural Design, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

【Abstract】 Low strain reflected wave method has been a widely used technology of pile foundation detection recently. In connection with common engineering quality problems in the foundation construction progress, such as broken pile, necking, widening from folding and other problems, this paper illustrates the basic principles of low strain reflected waves law briefly. Meanwhile, combining with the filed data collection and the indoor trail data analysis, it investigates preliminarily the pile detection with the low strain reflected wave method, and it has got a corresponding verification from engineering practice.

【Key words】 pile foundation detection; low strain reflected waves law; integrity; defective judgment

0 引言

桩基属于隐蔽工程, 为保证桩基安全可靠, 质量检验是十分必要的。桩身完整性检测技术, 通过几十年的发展, 其检测方法取得了很大进步, 由原来的单一性向现在的多样性转变^[1]。目前, 用于桩身质量完整性检测的方法主要有低应变反射波法^[2-3]、高应变法、声波透射法^[4-5]和钻芯检测法。

反射波法适用于检测混凝土桩的桩身完整性, 判定桩身缺陷的程度及位置, 它属于快速普查桩身质量的一种半直接方法。由于其具有设备轻便灵巧、野外数据采集快速方便、测试资料分析简单明了、测试费用低廉和检测覆盖面广等突出优点, 它已成为桩基完整性检测中应用最为广泛的方法之一。经过多年的研究和应用, 在工程界中已得到广泛应用并已纳入国家规范, 成为保障桩基工程质量的有力手段。

1 基本原理

低应变反射波法源于应力波理论, 基桩低应变反射波法检测桩身结构完整性的基本原理是: 通过

在桩顶施加激振信号产生应力波, 该应力波沿桩身传播过程中, 遇到不连续界面(如蜂窝、夹泥、断裂、孔洞等缺陷)和桩底面时, 将产生反射波。这样, 根据一根桩不同阻抗变化界面其反射波的时域和频域曲线的不同特征(传播时间、幅值和波形特征), 就可以判断桩身缺陷, 评定桩身质量。由于波长 λ 大于桩径 d , 而桩长 L 一般远大于 d , 因此, 基桩完整性的反射波法检测是建立在一维波动理论基础之上, 在数学上模拟桩的一维应力波传播

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{C^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad C^2 = E/\rho$$

式中: u 为 x 方向的位移, m; C 为波的传播速度, m/s; E 为桩材的弹性模量, MPa; ρ 为桩材的质量密度, g/cm³; x 为坐标 m; t 为时间, s。

应力波在桩体中传播过程中, 假设桩中某处阻抗发生变化, 当应力波从介质 I(阻抗为 Z_1) 进入介质 II(阻抗为 Z_2) 时, 根据上述的一维传播假设, 如果不考虑土阻力影响, 则可以得出在桩身阻抗变化

处,反射波的运动速度 V_R 与入射波的运动速度 V_i 之间的关系为:

$$V_R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} V_i$$

式中: Z 为桩身阻抗, $Z = \rho \cdot C \cdot A$, A 为桩截面积。

根据传播规律,得出桩的波阻抗发生变化时的振速反射系数 R_v 为:

$$R_v = \frac{\rho_1 \cdot C_1 \cdot A_1 - \rho_2 \cdot C_2 \cdot A_2}{\rho_1 \cdot C_1 \cdot A_1 + \rho_2 \cdot C_2 \cdot A_2} = \frac{V_R}{V_1}$$

式中: V_1 为下行波速度; V_R 为上行波速度。

当 $\rho_1 \cdot C_1 \cdot A_1 > \rho_2 \cdot C_2 \cdot A_2$ 时,如缩颈、离析、夹泥、断桩等,则 V_1 与 V_R 同号(同相位)。

当 $\rho_1 \cdot C_1 \cdot A_1 < \rho_2 \cdot C_2 \cdot A_2$ 时,如扩颈、嵌岩桩等,则 V_1 与 V_R 异号(反相位)。

由速度时程曲线反射点可以判断桩身阻抗变化位置,而缺陷的程度根据缺陷反射的幅值定性确定。

2 检测注意事项

反射波法在实际应用中虽然有诸多优越性,但也有不足的地方,如缺陷尺寸无法定量确定,无法确切说明桩身中的缺陷是离析、空洞、二次浇灌面、夹泥、缩径等中的何种缺陷等。因而有许多问题应引起检测人员的注意和重视,否则将对基桩完整性检测的效果产生较大的影响。

2.1 测试时间

混凝土灌注桩的强度是随其龄期增加而增大。当混凝土强度和弹性模量都达到一定值时(达到设计强度 75%),手锤敲击桩头才可能产生应力波,并在桩中传播,如果桩体的弹性模量太小,即使增加锤击能量也难于得到桩底反射信号。所以对于混凝土灌注桩测试,一般应选在桩身达到龄期后进行。

2.2 桩头处理

在现场信号采集工作中,桩头处理的好坏是测试是否能够有效的重要因素,也是测试前需要准备的关键性步骤。桩头应为达到设计标高的有效桩头,必须凿去表面浮浆,暴露出坚硬部分含骨料的混凝土为止,且桩头不能破碎、含水,不能有杂物,并用角向磨光机打磨若干个平整光洁的面,以便安装传感器和有好的锤击平面。安装点设置在桩心 2/3~3/4 半径处对称 4 个方向点,而锤击点为截面中心点。

2.3 传感器的选择与安装

测振传感器是基桩反射波检测中最基本的重要测试元件之一,它将机械振动参量换成电信号,其性能参数好坏直接影响到转换电信号的数据是否真实

地反映桩本身的反射信息。通常选用的内装式加速度传感器(ICP),该传感器无电荷放大器约束,频响更宽,对连线要求低,更适合于野外工作需要。

通常传感器安装在离桩形心 2/3~3/4 的桩面平整坚实处比较合适^[6]。传感器安装须离锤点一定距离,否则测得的曲线常会出现过大的负面反冲,会掩盖一些桩身浅部缺陷且对后面的波形产生一定的干扰,给正确分析带来困难。传感器的安装对现场信号采集工作影响较大,理论上传感器越轻、越贴紧桩面、与桩面之间接触刚度越大、信号传递特性越好,采集到的信号也越接近桩面的质点振动。此外,传感器的安装应与桩顶面垂直,用耦合剂粘结时,应具有足够的粘结强度。常用的耦合剂有黄油、凡士林、橡皮泥等,传感器安装好后可以进行测试。

2.4 激振锤与锤击点反射波法的振源主要由手敲击桩面而产生

锤击产生的应力波的差异,对测试信号的质量有极大的影响。锤击脉冲过宽,会掩盖桩身浅部问题;锤击脉冲过窄,会出现应力波弥散。锤击能量过小,就很难将整个桩激振,特别对一些大、长桩,就很难看出桩底反射。锤击时,应尽量保证锤击方向与桩面垂直,以减少水平分量对波形产生的干扰。因而必须依据不同材质、不同质量的锤体和不同厚度的锤垫及不同敲击方式,给桩面以合适的激励,才能采到质量较好的信号。另外,敲击质量的高低将直接影响到测试结果的优劣,要由经验丰富的熟练工人来操作。敲击时锤要落到实处,干脆利索,锤击方向与桩顶平面垂直,避免二次冲击,达到产生瞬间激发点源。

2.5 信号采集

现场信号采集首先要进行仪器参数设置,信号采集较好的波形应该具有以下特征:①多次锤击的波形重复性好;②波形真实反映桩的实际情况,完好桩底反射明显;③波形光滑,不应含毛刺或振荡波形;④波形最终回归基线。

不同检测点及多次实测时域信号一致性较差时,应分析原因并在检测现场及时研究,排除影响测试的不良因素后复测。当随机干扰较大时,可采用信号增强方式,进行多次重复激振与接收。

2.6 场地条件

桩周土对低应变反射波法检测采集波形曲线也具有较大影响,一般而言,当桩周土软土层变到硬土层时,采集的波形曲线就会在相应位置处产生类似扩径的反射波;而当在周土由硬土层变到软土层时,采集到的波形曲线就会在相应位置产生类似缩颈的

反射波。因此,每个检测工地均应进行激振方式和接收条件的选择试验,确定最佳激振方式和接收条件。因为不同工区桩的类型、桩径大小、桩头混凝土质量、土层地质情况等条件差异较大,检测时,对激振和接收的最佳条件选择只能通过现场试验对比来确定。

2.7 检测信号处理

对桩底反射信号不明显的情况,结合原始波形,适当地对波形进行指数放大,可以确保在桩头信号不被削波的情况下使桩底信号得以清晰地显现出来。为使波形更容易分析判断,经常在波形分析处理时采用到波形的滤波。实际工作中,多采用低通滤波,而低通滤波频率上限的选择尤为重要,因而须注意选择适当的参数。

3 工程实例分析

以某矿选煤厂原煤仓采用预制桩为例,介绍低应变反射波法在预制桩的桩身的完整性检测中的应用。

3.1 工程地质情况

①杂填土:层厚 0.70~1.80 m,平均 0.85 m,

灰黄色,含煤矸石、植物根,较松散,场区普遍分布;②粉质粘土:层厚 3.50~4.20 m,平均 3.80 m,黄色,含铁锰氧化物、3 m 附近含较多砂姜、灰色粘土、夹薄层粉土,可塑—硬塑,场区普遍分布;③粉砂:层厚 2.30~3.20 m,平均 2.90 m,黄灰色,饱和,密实,场区普遍分布;④泥质粉砂岩:该层未穿透,最大揭露厚度 7.80 m,紫红色、裂隙较发育,层状构造,泥砂质结构,场区普遍分布。

3.2 工程概况

该基础采用预制管桩,设计强度为 C80(对应弹性波速约为 4100 m/s),承载力特征值为 900 kN,持力层为强风化泥质粉砂岩。桩长设计 8 m,桩径 300 mm,桩头采用电锯处理锯平到承台底标高处,检测时使用的是普通尼龙锤头,采用加速度传感器作为接受探头,利用黄油做耦合剂,波形采集频段 ≥ 3000 Hz。

3.3 桩基完整性检测结果

其中 1、2、3、4 桩基测试时域信号曲线见图 1—图 4。

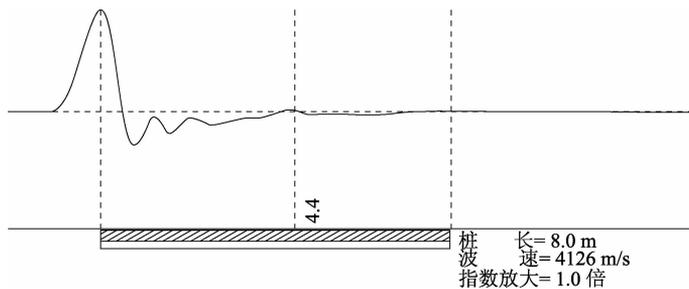


图 1 深部缺陷时域信号曲线

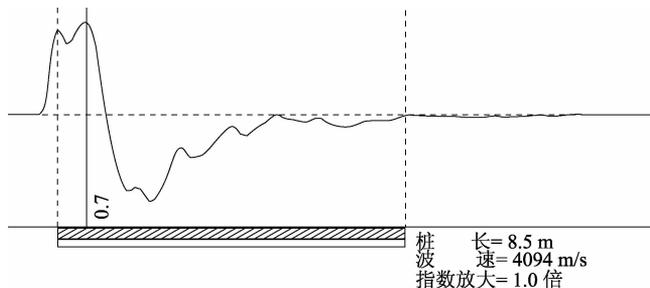


图 2 浅部缺陷时域信号曲线

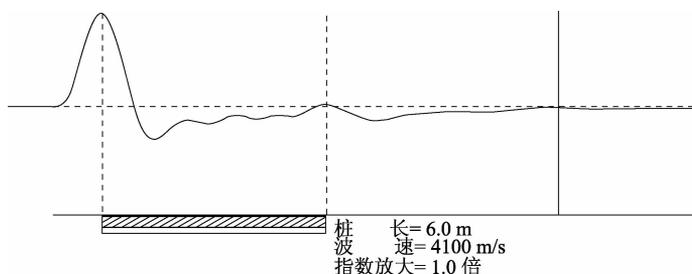


图 3 未进持力层时域信号曲线

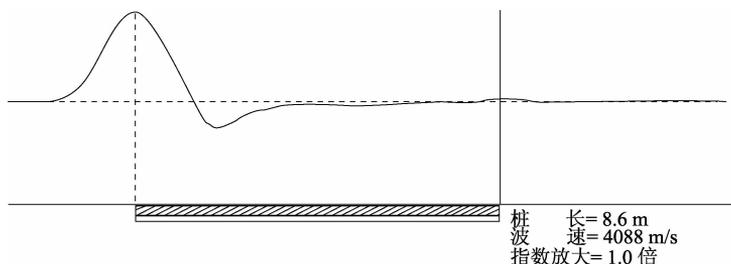


图4 完整桩时域信号曲线

曲线1:施工记录桩长8 m。从实际测试的信号中清晰地看到桩底反射明显,桩混凝土的桩身阻抗大于桩端持力层的阻抗,因此桩底的反射相位与起跳峰相位一致在同相位,桩底反射时间为3.88 ms,波速为4126 m/s,指数放大倍数为1,桩头下4.4 m处桩身明显同相位反射信号,未到达桩底出现明显的同相反射信号,判定为此处出现缺陷,为Ⅳ类桩。开挖验证在4.4 m处存在断裂。

曲线2:施工记录桩长8.5 m。从实际测试的信号中清晰地看到,有桩底反射比较弱,桩混凝土的桩身阻抗大于桩端持力层的阻抗,因此桩底的反射相位与起跳峰相位一致在同相位,反射时间4.15 ms,波速为4094 m/s,靠近桩头位置0.7 m处出现多次强烈同相反射信号,未到达桩底出现明显的同相反射信号,判定为此处出现缺陷,为Ⅳ类桩。开挖验证在0.7 m处存在断裂。

曲线3:施工记录桩长8.6 m。从实际测试的信号中清晰的看到,有桩底反射比较较强,桩混凝土的桩身阻抗大于桩端持力层的阻抗,因此桩底的反射相位与起跳峰相位一致在同相位,反射时间2.92 m/s;且二次反射信号较好,反射时间5.83 ms,输入现场试验对应C80为4100 m/s,该桩长为6.0 m,参照工程地质概况该场地6.0 m并没有达到泥质粉砂岩,因此判断该桩未按照设计进入持力层,长度不够,承载力不够,判定为缺陷桩,为Ⅳ类桩。经静载验证承载力为400 kN。

曲线4:施工记录桩长8.6 m。从实际测试的信号中清晰地看到桩底反射明显,桩混凝土的桩身阻抗大于桩端持力层的阻抗,因此桩底的反射相位与起跳峰相位一致在同相位,桩底反射时间为4.21 ms,波速为4088 m/s,指数放大倍数为1,为Ⅰ类桩。

实例分析:经过分析得知曲线1、2、3桩为Ⅳ类桩,需要经过其它方法(如静载试验或高应变)进一步验证承载力是否满足设计要求,否则需要经过工程处理后使用,曲线4桩为Ⅰ类桩,桩底反射明显,

桩身弹性波速与混凝土强度对应性较好,施工桩长与地质资料较吻合。

总之,通过分析上面不同类型、不同施工工艺的桩基,可以看到采用低应变反射波法检测桩身完整性的时候,我们切身体会到了其方便、快捷的优点,但是其存在的不足和缺陷是绝对不容忽视的。

4 结语

现场测试与分析可知,反射波法在对桩的完整性进行检测时结论较为准确有效,可以满足工程实践的需要,但是利用反射波法检测基桩完整性时,其正确结论的得出取决于各方面因素的共同作用,因而对于桩基这类隐蔽性工程的检测,尚有许多问题应得到检测人员的重视。在实际的工程测试工作中,应针对测试方法的特点,结合工程实际,综合参考设计、监理及施工资料对所检桩进行认真仔细的分析,以及时发现缺陷,分析缺陷产生的原因,并提出适宜的解决方案,对施工进行指导以避免在后续施工过程中产生类似缺陷,保证工程质量。

参 考 文 献

- [1] 杨红英. 浅谈运用两种方法检测桩身完整性的必要性[J]. 矿产与地质, 2005, 5(19): 576-578.
- [2] 张灿辉, 张建林, 谢建华. 桩身完整性检测的非线性最小二乘优化方法[J]. 应用力学学报, 2006, 23(1): 141-144.
- [3] 张金铃. 基桩低应变检测缺陷程度的定量分析方法[J]. 西部探矿工程, 2006(1): 22-25.
- [4] 王齐仁. 声波透射法评价基桩事故处理质量[J]. 建筑科学, 2005, 21(6): 84-88.
- [5] 龙昌国, 罗一新. 功率谱估计在超声波桩检中的应用研究[J]. 科学技术与工程, 2006, 6(9): 1273-1274.
- [6] 王雪峰, 吴世明. 基桩动测技术[M]. 北京: 科学出版社, 2001.