

低应变反射波法在基桩检测中的应用 实例及一些问题的探讨

陈昌军

(海口市地震设防中心, 海南 海口 570208)

摘要: 根据应力波理论, 介绍了用低应变反射波法在桩身完整性检测中的几个应用实例, 并对检测中的一些问题作了探讨。

关键词: 应力波理论; 低应变反射波法; 基桩完整性检测

中图分类号: TU473.1+6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8662(2003)02-0085-05

前言

低应变反射波法基桩完整性检测是一种使用比较广泛的基桩完整性检测方法, 它是利用手锤(或力棒)在桩顶施加一小冲击力 $F(t)$, 激发应力波沿桩身传播, 应力波在传播过程中诸如遇到桩截面缩径, 扩径, 砼离析, 断桩等缺陷或桩底时, 波阻抗将发生变化, 从而使应力波在该截面发生反射, 利用安装在桩顶的传感器(加速度计或速度计)接收由初始信号和桩身缺陷或桩底产生的反射信号组合的时程曲线, 利用信号采集分析仪对所记录的带有桩身质量信息的波形进行处理和分析, 并结合有关地质资料和施工记录对桩的完整性作出判断。桩顶接收到的时域信号还包括桩侧土阻力的增加(增大)或减小(表现为波阻抗减小)而引起的叠加信息, 因此可以根据时域曲线异常反射信号的位置来判断桩缺陷的深度, 根据反射信号的相位变化来判断桩缺陷的性质, 根据反射信号的幅值用时域拟合曲线方法来确定桩缺陷的程度。

在工程检测中, 对基桩缺陷的误判、漏判, 往往给工程安全造成隐患或致使建筑物产生不均匀沉降等工程质量事故。如何最大限度地减少误判和漏判? 以下将从测试原理角度并结合工程实例作一些分析探讨。

1 低应变反射波法的原理

低应变反射波法是在时间域上研究分析桩的振动曲线, 通常是通过对桩的瞬态激振后, 研究桩顶速度随时间的变化曲线, 从而判断桩的质量。

收稿日期: 2002-12-22

作者简介: 陈昌军(1964), 男, 工程师, 主要从事抗震设防工作。

假定桩是一维弹性杆, 在桩顶利用手锤 (或力棒) 施加一脉冲力 $F(t)$ 后, 激发一应力波沿桩身传播, 遇到波阻抗变化处产生反射波, 根据波动理论和弹性波在桩身内沿轴向传播的基本规律, 振动速度可以表达为:

$$V_R = \frac{(n-1)}{(n+1)} V_1 = \frac{\rho_1 C_1 A_1 - \rho_2 C_2 A_2}{\rho_1 C_1 A_1 + \rho_2 C_2 A_2} V_1 \quad (1)$$

式中: V_R 为反射波的速度量; V_1 为入射波的速度量; ρ 为桩自身质量密度; C 为波速; A 为桩的横截面积; n 为桩身完整性系数 ($n = \frac{\rho_1 C_1 A_1}{\rho_2 C_2 A_2}$)。

(1) 当 $n > 1$, $\rho_1 C_1 A_1 > \rho_2 C_2 A_2$, 此时, 反射波 V_R 与入射波 V_1 同相位。例如: 桩身存在离析 (即 $\rho \downarrow$ 、 $C \downarrow$)、缩径 (即 $A \downarrow$)、夹泥缺陷 (即 $\rho \downarrow$) 或嵌岩桩底沉渣过厚 (A 变化), 以及摩擦桩桩底反射都会出现反射波 V_R 与入射波 V_1 同相位的情况。

(2) 当 $n < 1$, $\rho_1 C_1 A_1 < \rho_2 C_2 A_2$, 此时, 反射波 V_R 与入射波 V_1 反相位。例如: 扩径、端承桩桩底反射波形都属于此类型。

若假定 C 已知, 从实测的反射波曲线可以计算出桩长或缺陷位置 L

$$L = \frac{1}{2} C t_R \quad (2)$$

C 为波速; t_R 为反射时间。

2 工程实例分析

在工程检测中, 我们一般采用的是中科院武汉岩土所研制的 FD-P204 全程浮点动测仪, 仪器主要性能指标: ①放大器带宽: 0~350Hz; ②放大器增益: 浮点 1~256 倍, 前置放大器增益 100 倍, 整机放大器 1~25600 倍; ③系统误差: $\leq 1\%$; ④滤波器: 20、40、80、100、250、1K、3K、20KHz 8 档低通; ⑤采样间隔: $10\mu s \sim 65.536ms$ (步距 $1\mu s$)。仪器在工作时状态良好。

(1) 海口某工地 52# 基桩检测 (2001-03~2001-04)

图 1 为海口市某工地 52# 基桩检测时域波形曲线图。该桩为钻孔灌注桩, 桩径为 600mm, 桩长 24m, 砼为 C20, V_p 为 3520m/s。该桩在 8.52ms 处波阻抗发生变化, 出现与初始波同相的反射波, 且波形比较毛糙, 结合桩长分析, 此处不应是桩底反射, 应是离析的反映。结合工勘报告和施工记录分析造成离析的原因, 可能是由于泥浆护壁不好造成坍塌或混凝土浇捣不实, 形成混凝土局部空洞及石子、砂浆较高程度集中。

(2) 海口某工地 64# 基桩检测 (2001-03~2001-04)

图 2 为海口市某工地 64# 基桩检测时域波形曲线图。该桩为钻孔灌注桩, 桩径为 600mm, 桩长 20m, 砼号为 C25, V_p 为 3700m/s。在 3.45ms 处波阻抗发生变化, 出现了与初始波相位同相的反射波, 且波形比较规则光滑, 主频完全单一, 较缓, 再考虑其幅值和畸变等因素, 判断为缩径, 开挖验证符合判断。

(3) 海口市工商局综合楼 37# 基桩检测 (2001-07)

图 3 为海口市工商局综合楼 37# 基桩检测时域波形曲线图。该桩为钻孔灌注桩, 桩径为 400mm, 桩长 30m, 砼号为 C20, V_p 为 3050m/s。在 6.12ms 处波阻抗发生变化, 出现了与初

始波反相的反射波, 且波形较规则光滑, 判断为扩径。

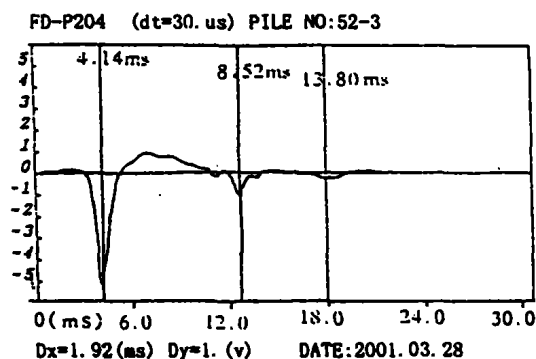


图1 海口某工地 52# 基桩检测时域曲线图

Fig.1 Time - domain curve of pile 52# foundation testing at a building site in Haikou

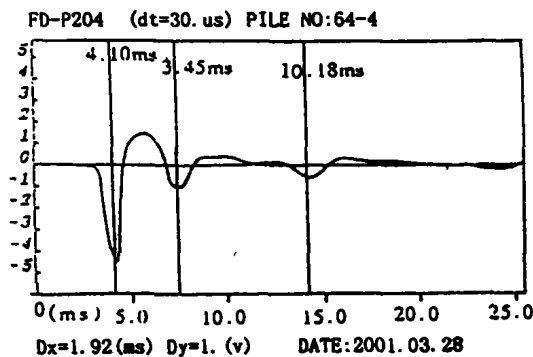


图2 海口某工地 64# 基桩检测时域曲线图

Fig.2 Time - domain curve of pile 64# foundation testing at a building site in Haikou

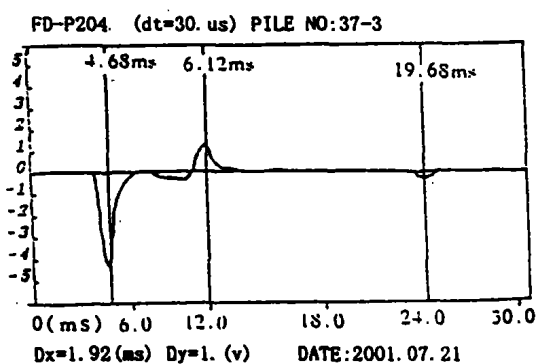


图3 海口市工商局综合楼 37# 基桩检测时域曲线图

Fig.3 Time - domain curve of pile 37# foundation testing of Synthesis Building of Business Administration Bureau of Haikou

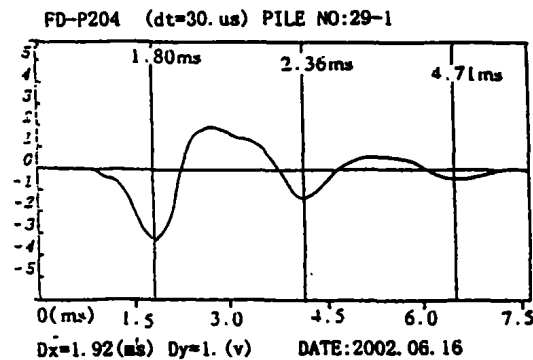


图4 海口市殡葬管理所综合楼 29# 基桩检测时域曲线图

Fig.4 Time - domain curve of pile 29# foundation testing of Synthesis Building of Administration House of Funeral and Interment of Haikou

(4) 海口市殡葬管理所综合楼 29# 基桩检测 (2002 - 06)

图4为海口市殡葬管理所综合楼 29# 基桩检测时域波形曲线图。该桩为预应力管桩, 桩径为 4000mm, 砼号为 C20, V_p 为 3390m/s。从波形图上明显可以看到二次反射波, 两次反射波等时距出现, 波幅缓慢衰减, 判断为断桩, 断桩位置位于 4m 处, 开挖验证符合判断。

3 对低应变反射波法检测中的一些问题的探讨

(1) 信号真实性问题

在低应变反射波法检测桩身完整性中, 时域采集信号的真实性是桩身缺陷判断准确与否的关键。实测信号应是应力波在桩体传播过程中桩体波阻抗变化的真实响应。造成信号失真大体有以下几方面的原因:

①桩头处理：在低应变反射波法检测中，传感器的安装点和敲击点要求是坚硬、新鲜的混凝土，如果敲击点落在桩顶没凿干净的浮浆上，能量在小范围内迅速耗散而影响应力波向下传播，并使杂波幅值大，殃及整个时域，掩盖了桩下部的信息。

②传感器：在低应变反射波法检测中传感器的选择很重要，所用传感器应与所测桩响应相匹配，应选择灵敏度高、频率范围宽、线性动态范围大的耐冲击的加速度传感器。

传感器与桩面耦合越好，检测结果越真实。实践表明，以桩顶圆心为敲击点时，传感器应安装于距中心 $2/3$ 半径处，检测信噪会比较大。

③锤的选择，刚度大的铁锤激发出脉冲宽度很窄的矩形波 ($\tau \leq 1\text{ms}$)，可提高缺陷处的分辨率，对桩身浅部缺陷的探测有利，但衰减快，不易获取桩身其它部位和桩底反射信号。刚度低的锤激发出低频率脉冲较有利于桩底反射，但难以判别出桩上部缺陷，所以在检测过程中应根据不同的目的选择不同材质、不同重量的激振锤。

(2) 应力波的衰减

时域信号在传播过程中能量逐渐耗散，特别是当桩与土的阻抗（密度）相当时，波衰减较快，这时的波实际是三维球面波，不能简单视为一维波。

在进行桩身完整性量化分析时，应将信号进行指数放大处理，以消除因土阻力而引起的信号衰减所造成缺陷量的变化。

(3) 波速的选取

在缺陷量化分析时，波速的选取直接关系到缺陷位置的判断。当时域曲线上无桩底反射又无异常缺陷信号叠加时，波速应选取同一工地正常桩的平均波速，无明显桩底反射的桩不能进行量化。对缺陷出现在桩中部的桩应多加警惕，应该出现桩底的部位是缺陷的二次反射还是桩底要格外小心，同时要注意上段缺陷多次反射的现象。要根据平均波速来判断桩下部的异常反射是桩底还是缺陷。

(4) 低应变反射波法判断桩身缺陷的局限性

由于低应变反射波法是建立在理想化了的的一维杆波动理论上的，在现实的检测中对桩身缺陷的判断就有局限性：

①渐变缩径或离析且范围较大时，波形缺陷反应不明显。

②预制桩的裂隙或接头反射判断的尺度不好掌握。

③难以判断桩底沉渣具体厚度。

④在缺乏详实的地质资料以及施工记录不真实的情况下，不宜给出桩的缺陷性质（缩径、夹泥、离析）以及桩身夹少量异物的判断。

⑤不能检测平行于桩轴线的垂直裂隙。

⑥若浅部存在较严重缺陷时，很难再发现其下部的第二个缺陷。

(5) 采样间隔的设置

采样间隔的设置要符合现场条件和测试情况，过大会掩盖轻微缺陷，桩底反射不能显示，过小对缺陷的性质、量度不能了解。通常在实际操作中，以桩长数值的 $2 \sim 3$ 倍作为初始设置值，根据桩身缺陷及信号反射的情况设置合适的采样间隔，以便详细、准确地对被测桩进行分析。

4 结束语

低应变反射波法同其它的基桩检测方法相比, 具有简便、快速有效的优点。在现场测试时, 必须采用合适硬度的激振锤与加速度传感器, 设置恰当的参数, 保证采集信号的真实性和完整性。在对检测曲线判断时, 应该综合地质条件、施工工艺、应力波传播机理、桩侧土和桩尖土的力学指标等各种因素分析判断, 才能比较准确地分析判断桩身质量。

由于存在着复杂的桩—土系统、理论假设与实际不相符等问题, 低应变反射波法也有其局限性。认清这些问题有助于提高检测结果的可信度。

参考文献:

- [1] 刘明贵, 余诗刚, 汪大国 [M]. 《基桩检测技术指南》北京: 科技出版社, 1995.
- [2] 王敏权, 李桂华. 《基桩低应变动测理论与实践》[M]. 沈阳, 辽宁科学出版社, 2000.

Examples applied method of reflection wave with low strain in pile foundation inspection and discussion on some problems

CHEN Chang - jun

(Haikou city seismology fortified center, Hainan, Haikou 570208, China)

Abstract: Based on the theory of stress wave, this paper introduces some pile testing examples applied the method of reflection wave with low strain in integrity testing of pile body, and discusses some problems on testing.

Key words: Theory of stress wave; Method of reflection wave with low strain; Integrity testing of pile foundation