

文章编号:1008-3723(2001)02-0046-04

低应变基桩检测中传感器及激振技术

王东青

(辽宁本溪本钢工程建设监理公司,辽宁 本溪 117000)

摘要:基桩低应变检测中传感器的选择及安装技术、激振技术直接关系到测试结果准确与否。本文根据波动理论及从事桩检测的实践经验,重点探讨低应变基桩检测中传感器技术及激振技术。

关键词:基桩;传感器;低应变反射波法;波形

中图分类号:TU 473

文献标识码:B

近年来,随着高层建筑的迅猛增加,工程中普遍采用桩基以提高承载力。据有关部门统计,目前我国每年用桩量达百万根以上。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。本文根据波动理论及多年来的实践经验,就反射波法检测基桩缺陷原理、传感器特性及安装工艺、锤击方式对检测波形的影响等问题进行分析探讨,以供参考。

1 低应变反射波法原理

桩完整性的低应变反射波法诊断技术是以一维弹性杆平面应力波波理论为基础的,由一维波动力学理论可知,桩身波阻抗(特性阻抗)是其横截面积、材料密度和弹性模量的函数

$$Z = EA/C = CA \quad (1)$$

式中, Z 为桩的广义波阻抗(Ns/m);

C 为桩中声波传播速度(m/s);

E 为桩材的弹性模量(N/m²);

为桩材的质量密度(kg/m³);

C 为桩的特性声阻抗(kg/m²s)。

将一维波动力学理论用于线弹性桩(桩长 \gg 直径,入射波长 $>$ 桩直径),在桩顶锤击力作用下,产生一压缩波,此波以波速 C 沿桩身向下传播;当波阻抗 Z 发生在任何变化的介面处,入射波将产生反射与透射,反射波和透射波的幅值大小及方向由一维波动力学理论确定。暂不考虑桩周阻尼的影响,研究桩顶入射

波在变截面处的反射与透射。

$$P_T/P_I = 2Z_1/(Z_1 + Z_2)$$

$$P_R/P_I = (Z_2 - Z_1)/(Z_1 + Z_2) \quad (2)$$

$$V_T/V_I = 2Z_1/(Z_1 + Z_2)$$

$$V_R/V_I = -(Z_2 - Z_1)/(Z_1 + Z_2) \quad (3)$$

式中下脚标I,R,T分别代表入射、反射、透射; P , V 表示应力与速度,由式(1)~(3)可得:

(1)当 $Z_1 = Z_2$ 时,则有

$$P_T = P_I \quad V_T = V_I$$

$$P_R = 0 \quad V_R = 0 \quad (4)$$

表示桩截面均匀、无缺陷,桩身中不存在介面,入射波以不变的速度、应力幅值、方向向下传播,不产生反射。

(2)当下行压缩波遇到 Z 减小的介面时,即 $Z_1 > Z_2$,则产生反射波和透射波,由式(2)可见, P_R 与 P_I 异号,表明反射应力为上行拉力波,其相位与入射波相反,由式(3)可见, V_T 与 V_I 符号一致,表示反射波的速度信号与入射波的速度信号相位相同,此速度信号可用速度传感器在桩顶检测出。

总之,当在桩顶检测出的反射波速度信号与入射波速度信号相位一致时,表明在相应位置存在截面缩小或砼质量较差等缺陷;反之,当反射波速度信号与入射波初始信号相位相反时,表明在相应位置存在扩颈。

(3)变截面处反射波幅值(速度波与应力波幅值)与波阻抗的变化差值($Z_1 - Z_2$)成正比,波阻抗变化越大,反射波信号越强。

(4)透射的速度波或应力波在缩颈或扩颈处均不

收稿时间:2000-11-08

作者简介:王东青(1966-),男,辽宁本溪人,本钢工程建设监理公司工程师。

改变方向或符号,且缩颈处透射波的幅值大于入射波,而扩颈处则相反。

(5) 自锤击压缩波出现时刻起,变截面处所产生的反射波信号到达桩顶的总时差为

$$t = 2L_x / C \quad (5)$$

式中, L_x 为变截面到桩顶端传感器安装点的距离;

C 为桩身弹性波传播速度。

对于桩尖处的反射波与入射波的符号和幅值,同样可以判断。

当桩身阻抗大于土阻抗时,在桩尖处的反射波和入射波的应力异号,即反射波为上行拉力波,而反射波的速度信号与入射波速度信号符号相同,若在桩的顶端观测,则反射波的速度信号与锤击下行波符号一致,应力则相反,这和缩颈处的反射波符号相同。

桩尖处的反射波的应力 P_R 和速度 V_R 的幅值,随土质变软(或土声阻抗变小)幅值变大,当桩-土的声阻抗相差很悬殊,桩可近似看成自由端时 $P_R = -P_I$, $V_R = V_I$,即反射波幅值近似与入射波幅值相等,此时桩尖处的应力为零,而速度加倍。当然,实际由于桩内阻尼的存在,反射波速度要稍小些。

反之,随着桩尖处阻抗的增加,反射波的幅度变小,特别是当桩尖处土阻抗与桩身阻抗接近时,桩尖反射信号很弱,导致桩底反射波判断很困难。

因此,在用反射波法检测桩身完整性时,桩尖附近土的阻抗对桩尖处反射波速度和应力的幅值会产生明显的影响。

下面是一些桩身缺陷中较典型的波形,供大家参考(见图1~7)。

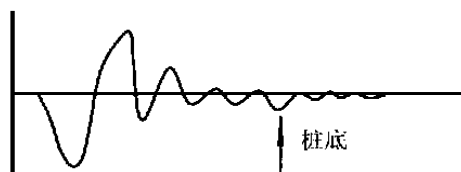


图1 完整桩波形

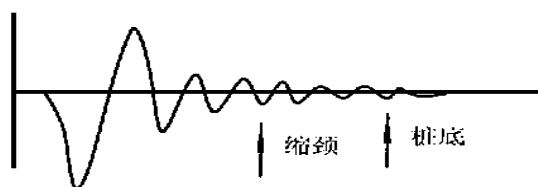


图2 缩颈桩的波形

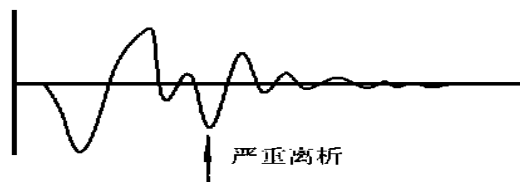


图3 桩身出现离析的波形

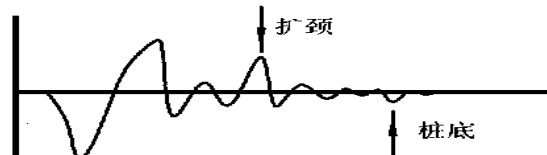


图4 扩颈桩的波形

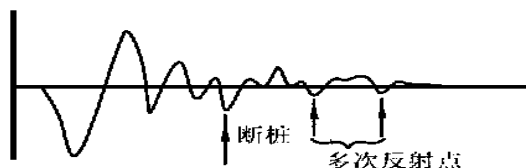


图5 桩身出现断裂时的波形

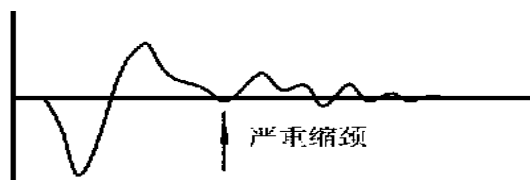


图6 严重缩颈的波形

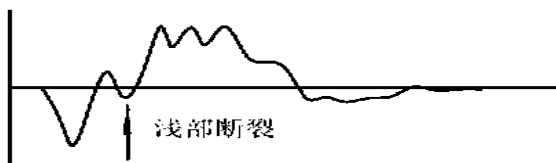


图7 浅部在1米内存在断裂的波形

2 传感器特性及安装对实测波形的影响

从以上原理可知,桩身质量低应变反射波法检测是利用波动的介面效应,即缺陷处反射波的相位、振幅和到达时间判断缺陷的性质、程度和位置的,如何保证测量结果准确可靠,除要求采集仪在规定频带内不失真外,使用的传感器的可靠性是一个关键的因素,在这里仅就传感器特性及安装工艺对实测波形的影响做一些分析。

2.1 传感器特性的影响

阻尼系数:使用 1.0 的速度检波器,锤击激发时只有一个波峰,显然对检测较长桩桩底反射信号是十分有利的,但相对来说缺陷波的信号就不如阻尼系数较小时清晰易辨,因此,最好根据不同检测目的选择相应的检波器。高阻尼检波器明显消除了锤击产生的高频成分,信噪比较高,分析很直观(见图 8)。

谐振频率:常用速度检波器的谐振频率为 5Hz ~

40Hz,其带宽低端为 10Hz ~ 100Hz,高端为 200Hz ~ 2KHz,基桩检测时接收到的信号频率在 100Hz ~ 1.5kHz 之间,根据理论和经验,大体可选 8Hz ~ 38Hz 的速度检波器。作桩身质量检测时,为了便于检测浅部的反射波,宜选择谐振频率稍高的检波器。

2.2 检波器安装工艺的影响

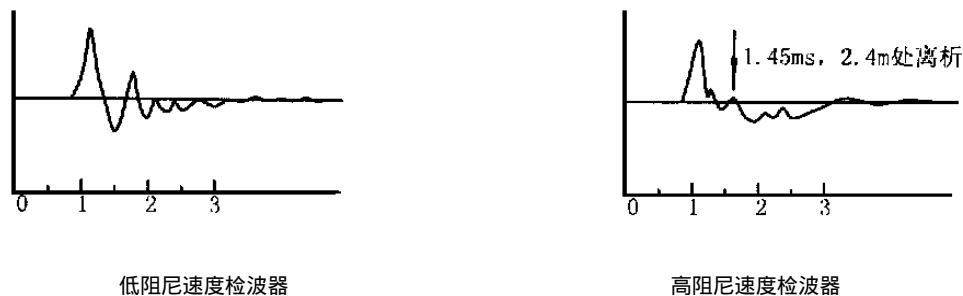


图 8 高低阻尼速度检波器实测波形比较



图 9 传感器安装对波形的影响



图 10 手锤激振很难识别桩底反射信号,而力棒激振可较容易获得桩底反射

桩检测时,为了保证检测结果的可靠性,对桩头要作必要的处理,如凿屈浮浆或松动快,使待测表面大体平整,这样可保证检波器大体上竖直安装(速度传感器要求倾斜度不得超过 20 度)。

其次,检波器应紧密固定在桩头上,使信号能不失真地传给检波器,以保证在同一根桩上多次重复锤击得到的波形基本一致,否则将使测量结果严重失真,无法分析判断。

检波器安装时,不宜太靠近钢筋;桩头刚度偏低时会出现首波前半波幅值低于后半波幅值的波形(见图 9)。

图 9(a) 是传感器与桩头偶合不好产生的不对称波形;图 9(b) 是重新安装后所测的波形。

3 锤击方式的影响

锤击的目的是在桩头产生一个扰动,从而生成一个沿桩身传播的弹性应力波,而不同频率的应力波沿桩身传播时,具有不同的衰减特性,定性来说,高频分量对细小界面、骨料等反应灵敏,但衰减较快;低频分量在小界面处易产生绕射,但衰减较慢,传播深度相对较大。因此,实际应用中常通过改变手锤重量或激发棒的形状、材料硬度以及在桩头加不同材料的桩垫来达到产生不同频率成分的应力波的目的,以适应对桩浅部和深部缺陷的判断的需要。

此外,由于桩顶锤击点产生的应力波实际上为球面波,当沿桩身传播到大于桩径的 1.5 倍后,方可认为波阵面曲率较小,近似为平面波;并且,锤击后还引

起沿桩顶水平方向传播的横波、表面波以及由于桩顶材料局部塑性变形、破碎,造成干扰性杂波成分,而这些成分往往幅度较强。以上干扰因素,可通过带通滤波改善传感器耦合、降低传感器横向灵敏度、选择适当阻尼系数的传感器,以及桩顶处理、调整激发方式来改善(见图10)。

在某些复杂情况下,可用低频脉冲波获取桩底反射,再用高频脉冲波检测桩身上部缺陷。

4 结束语

综上所述,在实际操作中,由于具体情况差异很

大,除依据波动理论基础进行分析外,还应十分重视下列辅助资料的收集并利用其参与分析判断,这些辅助资料是:

- * 灌注桩的成孔工艺
- * 成桩机具、工艺与施工记录
- * 工程地质勘察报告

这些辅助资料可以帮助我们分析可能出现哪些缺陷,甚至缺陷可能出现的部位。故反射波法对缺陷的分析判断是一个综合分析判断的过程,而这个分析判断的解释方法,对一个工地上的所有被检测的桩可能出现的缺陷都能正确地加以解释。

参 考 文 献

- [1] 国家建筑工程质量监督检验中心编. 基桩动测技术 [R]. 1996.
- [2] 刘明贵. 基桩与场地检测技术 [M]. 武汉:湖北科技出版社, 1995.

Application of Sensor and Shock Technics to Examining Pillar Bearing with Minor Strain

WANG Dong - qing

(Supervisory Engineering Corporation, Benxi Steel, Benxi, Liaoning, 117022, china)

Abstract The choice of sensor and its fixing and shocking technics concern directly the precision of the outcome of the examination pillar bearing with minor strain. The paper dwells on the sensor and shocking technics used in examining pillar bearing with minor strain based on the wave principle and personal practical experience.

Key words Pillar bearing; Sensor; Reflecting technic on minor strain; Wave mode