

多点反射时距解析法与基桩检测方法技术初析

赵贵民, 胡 勘

(贵州地质工程勘察院, 贵州 贵阳 550008)

[摘要] 通过对反射波法基本原理进行阐述, 提出了利用多点反射回归解析获取桩体一些基本参数的数据处理方法及测试工作方法, 例举了桩身长度 L 、桩体纵波速 V_P 及桩底面倾角 可能出现异常的解释, 并通过一工程实例对该方法进行例证。

[关键词] 反射波; 时距方程; 回归解析; 桩体参数

[中图分类号] P631.5 [文献标识码] A [文章编号] 1000 - 5943 (2000) 04 - 0260 - 04

低应变动力检测是一种原位测试, 目前多采用反射波法, 因该方法原理简单、检测装备轻便, 对桩体检测具备无损性、使得该种检测得以广泛应用。实际检测过程中常采用单点反射波法, 该方法需要被检测方提供桩体纵波速值 V_P 和桩体长度 L 二者中的任意一个参数, 方能对另一个参数进行计算, 然而由于多种原因, 使检测精度受到一定影响, 为此, 检测方迫切希望的有一种有效而快捷的 V_P 及 L 值同时测定的方法, 本文正是基于此目的而开展的, 以供研讨。

然就存在较大的偏差, 因为这种情况下反射时距公式为:

$$t_0 = \frac{1}{V} \sqrt{X^2 + 4h^2} \quad (2)$$

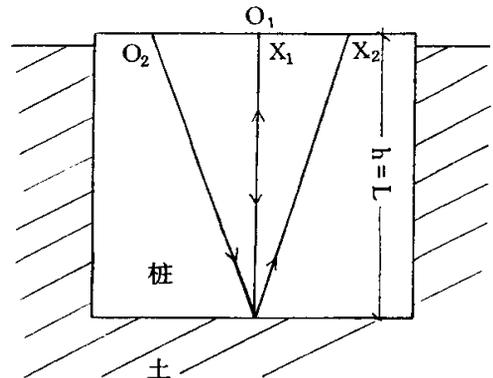


图1 单点反射测试示意图

然而, 当桩长度不准确或沿激发至接收方向的桩底面视倾角 不为零时 (即 $L \neq h$), 用 (2) 式计算出的 V_P 值显然也不够准确, 因此单点反射解析的 V_P 值精度不高, 也无法对桩长 L 进行检查。

1 反射时距方程解析法

1.1 单点反射解析

如在 O 点激发并接收 (图 1), 则反射时间 t_0 , 桩体纵波 V_P 及 O 点的法向深度 h 的关系如下:

$$t_0 = \frac{2h}{V_P} \quad (1)$$

利用 (1) 计算 V_P 值, 需提供桩长 L , 且桩底面为水平状态, 即 $L = h$ 。

然而, 如在 O 点激发并接收, 面波产生的强大干扰往往会有用的反射波给压抑掉, 为减轻面波的干扰, 实际测试时, 将传感器置于激发点部位一定的间距 X , 这样利用 (1) 式计算 V_P 值, 显

1.2 多点反射回归解析

当在 O 点激发, 在与 O 点为坐标原点一直线的 X_1 、 X_2 、 X_3 ... X_N 部位进行多点接收 (图 2), 则反射波的时距方程为:

[收稿日期] 2002 - 08 - 09

[作者简介] 赵贵民 (1968 -), 男, 工程师, 1991年毕业于西安地质学院, 主要从事物探、岩土测试工作。

$$t_i = \frac{1}{V_p} \sqrt{4h^2 + X_i^2 + 4hX_i \sin \theta} \quad (3)$$

(i = 1、2、...、N)

$$\begin{aligned} \text{上式可整理为: } t_i^2 &= \frac{4h^2}{V_p^2} + \frac{4h \sin \theta}{V_p^2} X_i + \frac{1}{V_p^2} \\ &+ X_i^2 \end{aligned} \quad (4)$$

令:

$$A = \frac{4h^2}{V_p^2} \quad B = \frac{4h \sin \theta}{V_p^2} \quad C = \frac{1}{V_p^2}$$

$$X_{Li} = X_i \quad X_{2i} = X_{2i} \quad Y_i = t_i^2$$

则上式化为二元一次多项式:

$$Y_i = A + BX_{Li} + CX_{2i} \quad (5)$$

由 (4) 式可知: 对于实测记录中一个反射波同轴, 已知一组 N 个 (至少为三个) X_i 与对应的一组 N 个反射波到时 t_i 都对应一组 N 个 X_{1i} 、 X_{2i} 、和 Y_i 通过二元线性回归, 可求得:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - \frac{B}{n} \sum_{i=1}^n X_{1i} - \frac{C}{n} \sum_{i=1}^n X_{2i} \quad (6)$$

$$B = \frac{\begin{vmatrix} L_{10} & L_{22} \\ L_{20} & L_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{vmatrix}} \quad C = \frac{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{10} \\ L_{21} & L_{20} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{vmatrix}} \quad (7)$$

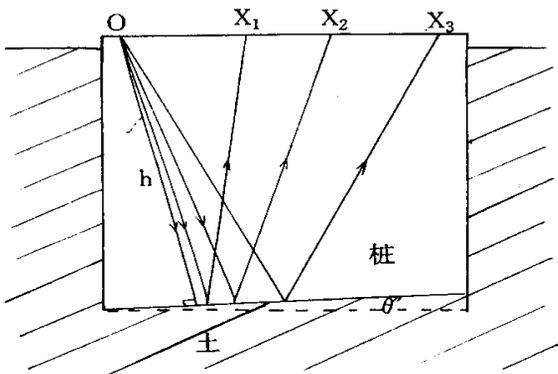


图 2 多点反射测试示意图

式中:

$$L_{22} = \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_{2i} \right)^2$$

$$L_{12} = L_{21} = \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} - \frac{1}{n}$$

$$\left(\sum_{i=1}^n X_{1i} \right) \left(\sum_{i=1}^n X_{2i} \right)$$

$$L_{10} = \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_{1i} \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) \quad (8)$$

$$L_{20} = \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_{2i} \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)$$

将 (6) (7) 式结果代入以下各式即可得桩体参数:

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{C}} \quad (\text{取正值}) \quad (9)$$

$$H = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A}{C}} \quad (\text{取正值}) \quad (10)$$

$$= \arcsin \frac{B}{2 \sqrt{A \cdot C}} \quad (\text{对 } A、C \text{ 取正值}) \quad (11)$$

2 多点反射测试方法应用条件及现场要求

2.1 多点反射测试方法应用条件

多点反射测桩法, 一般应满足以下要求:

(1) 桩体要求: 桩底面为平面或接近平面, 桩底无沉渣, 桩身与桩底围岩有较大的波阻抗差异。

(2) 反射波测量点数的要求: 由于反射时距方程中存在 V_p , h , 和 θ 三个未知量, 所以对三个量的求解需要的反射点数不少于三个, 反射点数愈多, 回归解析精度越高。

(3) 仪器采集系统要求: 在保证采样定理要求的前提下, 应使采样间隔足够小, 采样长度足够大, 这样才能保证每一个 X_i 都能接收到桩底反射

信号，且反射时间 t_i 足够精确。假设在离激发点最远的传感器能观测到桩底的二次反射，可按下式对采样间隔最小值进行估算：

$$S_{\min} = \frac{2 \cdot T_{\max}}{N_{\max}} \quad (12)$$

式中： S_{\min} 为采样间隔（秒/点）

N_{\max} 为仪器每道的最大记录点数（点）

T_{\max} 为离激振最远的传感器接收到的桩底反射波初至时间（秒）

(4) 反射接收要求：相邻接收点应同时追踪桩底反射波的同—相位。反射接收点间隔 X 应满足下式：

$$X \leq \frac{V_P \cdot T^*}{2} \quad (13)$$

式中： V_P^* 为某标号砼的特征波速值

T^* 为反射波的视周期。

除上述四点外，还需对桩体周土（岩）及桩体结构进行了解，以便判别桩底反射波。

2.2 现场测试要求

(1) 桩头必需去除浮浆，并将位于同一直线的激发、接收点部位磨平，使打磨后的各部位在同一水平线上。

(2) 用耦合剂（凡士林或黄油等）将传感器与磨平部位耦合紧密，并使传感器与磨平部位保持垂直。

(3) 激振方向垂直于桩顶面、激振能量小而干脆。

(4) 同一组测点，均进行两次以上的重复测试，必要时可采用信号增强方式，进行多次重复激振与接收。

(5) 同一桩，不少于4个不同方向（呈米字型）的排列进行测试。

(6) 采用磁电式传感器时，应远离交流感应区。

3 多点反射解析中常出现的桩体参数异常初析

(1) L 异常：解析出的 L 值与提供值相差较

大，而解析出的 V_P 值正常， α 较小，其原因可能为：把桩体中某一横向波阻抗界面（如：二次浇筑界面，桩体横向断裂界面、缩、扩径部位等）当成了桩底反射界面所致，可通过分析反射续至波，确定出每一 X_i 的桩底反射时间，重新进行回归计算，而加以修正。

(2) V_P 值异常： V_P 值异常必然是由 L 或 异常所引起的，其主要原因为：在该方向上的桩底截面为非直线型所致，可通过截取相邻成线性关系 t_i 与 X_i 为一组，分段进行解析，并取 α 较小、 L 接近提供值的一组为解析结果。

(3) 异常：解析出的 α 较大，接近 $70^\circ \sim 90^\circ$ ，而 V_P 值正常， h 值正常或明显偏小。该现象多由桩体倾斜较大，反射面在桩体侧面所致，可通过布设多个方向的排列，分别进行多点反射回归解析，并取 α 和 L 正常的一组为测试结果。

4 工程实例

某工地为人工挖孔灌注桩，27号桩桩体资料为：桩长 $L = 10.3\text{m}$ ，桩径 2500mm ，桩底面近似于水平面，桩填芯砼按 C20 级配比，桩底岩层为完整的中风化白云岩。采取在桩顶圆心部位激发，两端各埋6个传感器的12道接收方式，炮检距及道间距均为 20cm 。图3(a)为第4道实测曲线的放大图，图3(b)为该桩近东西方向排列的实测曲线，从该图上看在A点处，有一反射波到达，依据其相位及频率特征，可判定该点为桩底反射波的初至点。（图4b）中的 t_i 线为桩底反射同相轴，通过截取各道的反射初至时间 t_i ，参与回归计算得： $V_P = 3260\text{m/s}$ ， $h = 8.64\text{m}$ ， $\alpha = 2.30^\circ$ ，在别的方向上所获得的结果与此基本一致，其 V_P 值（C20的 V_P 值一般在 $3000 \sim 3300\text{m/s}$ ）及 α 值反映正常，而 L 值比提供值少了 1.6m 左右，通过验证验孔资料可知：该桩孔自地面起算深 10.3m ，而所检测的桩顶面则在地面以下 1.55m ，也就是说实测桩长应为 8.75m ，与计算结果基本吻合。其所剩的 1.55m 未浇部分，待地梁与桩体用钢筋相连接后再进行浇筑。

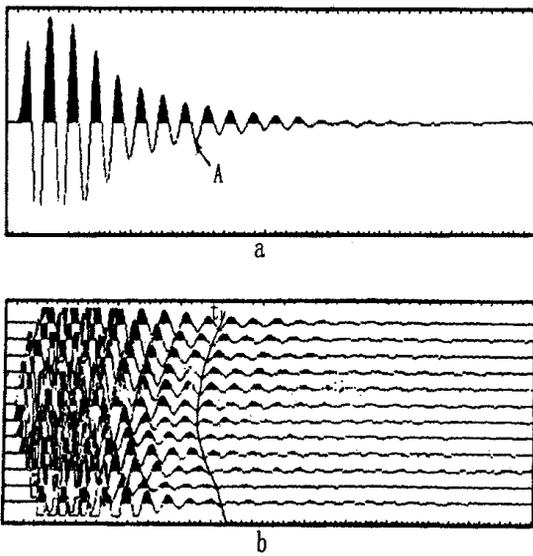


图3 27号桩实测曲线图

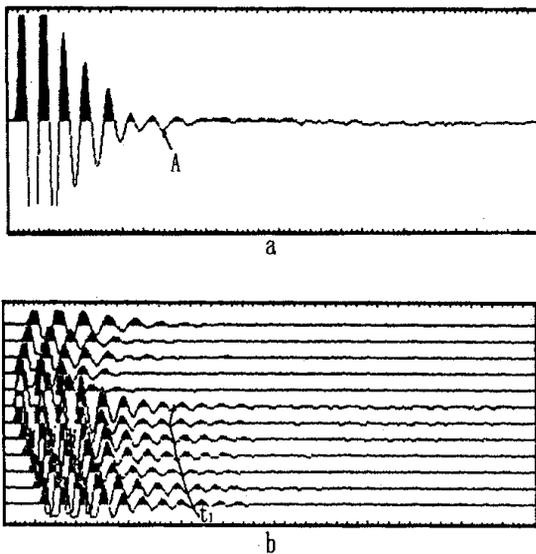


图4 35号桩实测曲线图

图4为该工地的35号桩实测曲线图,由单道(图5a)的曲线上看,桩体较为完整。所提供的桩

体参数除 $L = 7.45\text{m}$ 外,其余的与27号桩基本一致,从图4(b)上看,前5道反射同相轴零乱,而后7道的同相轴较为正常,对后7道的数据进行回归解释得: $V_p = 3149\text{mm/s}$ 、 $h = 7.63\text{m}$ 、 $\alpha = -1.60^\circ$ 、 $L \approx h$,与提供的桩体参数基本吻合,就前5道出现的异常原因,找来了挖孔人员进行询问,得知,在验孔过程中,发现孔底部局部岩体较为松散,验孔员责令挖孔员将其挖去,所凿去松散岩体的部位,正是前5道所反映的部位。

5 结语

利用多点反射对基桩质量进行检测,具有较成熟可靠的理论依据,该方法可独立的取得一些桩体的基本参数,更具有现实意义。然而,就目前而言,该方法因多方因素即:基桩施工复杂性、检测方法开展条件性、检测设备的精密性等,均会给基桩检测结果带来一定影响。但是,我们应清楚的看到,随着计算技术的发展,新技术、新方法的引入和多领域、高科技含量产品的应用与拓宽,势必为该方法的发展与应用创造一美好前景,因此,本文正是从试探的角度出发,希望能起到抛砖引玉的作用,恳请专家及测桩工作者能对此进行探讨和指正。

[参考文献]

- [1] 何樵登. 地震勘探原理和方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [2] 陈宏林, 丰继材. 工程地震勘察方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [3] 袁荫棠. 概率与数理统计 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1985.
- [4] 王振东, 周光龙, 蒋泽汉, 等. 基桩低应变动力检测规程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.

(英文摘要见 259 页)

[参 考 文 献]

- [1] 傅良魁. 电法勘察教程 [M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [2] 傅良魁. 激发极化法 [M]. 北京: 地质出版社, 1982.

Discussion on the ρ_s Distorted Origin of High - Density Electrical Method and Its Treatment

HU Kan, ZHAO Gui - min

(Institute of Geological Engineering Survey, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang, 550008, China)

[Abstract] During the process of collecting the data of high - density electrical method outdoors, the great distortion of false ρ_s value for the edge of anomaly body often appears as there occurs the ρ_s anomaly body, which makes against the data interpretation. The origin which causes the ρ_s value distortion is made an analysis for this phenomena, thereby the way of eliminating this abnormality and of the data update are outlined.

[Key words] high - density electrical method; ρ_s value distortion; field working; data update

(上接 263 页)

Preliminary Analysis on the Analytical Process of Multi - point Reflected Time Span and the Measured Technique of Foundation Pile

ZHAO Gui - min, HU Kan

(Institute of Geological Engineering Survey, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang, 550008, China)

[Abstract] The data treatment and measured technique by the use of multi - point reflected regress analysis to obtain a few of fundamental parameter are provided according to the basic principles of the reflected wave method, the explanations on the possible abnormality involving the length of pile body L , the longitudinal wave speed of pile body V_p and subsurface angel of slope are illustrated, and this way is illustrated with an engineering case.

[Key words] reflected wave; time span equation; regress analysis; pile body parameter