

倒频谱法判断桩身质量的原理和实践

吕绍棣

(土木工程系)

摘要 在讨论了倒频谱法的原理后,将该方法用在桩身质量的判断与分析中.文中引用了三个实例,分析结果表明:对某些实测波形,与目前的反射波时域分析法相比较,倒频谱法能更容易、更清楚地将反射信号从入射信号中分离出来,使判断准确性更高.

关键词 倒频谱分析;桩身质量完整性

分类号 TU753.3

0 引言

目前桩身质量检测是采用反射波法.由一维应力波理论可知,在桩头施加一作用力,将产生一个沿桩身轴线方向往下传播的应力波,若桩身混凝土是连续状态,则没有波的反射,直到传至桩底才出现反射信号.若桩身出现不连续界面,如遇夹泥、断桩、离析、缩颈或扩颈等情况将有反射波.从传感器接收到的时域图上,根据反射信号来判断桩身缺陷的位置和性质,这就是反射波法.

在时域图中,反射信号是叠加在入射信号中,由于入射波较强,而反射信号较弱,因此桩身缺陷的反射信号淹没在入射信号中,所以给判断桩身的缺陷和桩底反射带来一定困难.

如何把反射信号与入射信号分离,并把反射信号的幅度相对提高,这是目前国内测桩仪器正在解决的问题,倒频谱法有利于做到这一点.

1 倒频谱法原理

所谓倒频谱法,其实质为频域信号的富氏再变换.倒频谱定义很多,本文从相对自功率谱密度 $g_{xx}(\omega)$ 出发

$$g_{xx}(\omega) = \frac{G_{xx}(\omega)}{G_0}. \quad (1)$$

收稿日期:1995-01-18.

吕绍棣,男,1937年生,副教授.

其中: $G_{xx}(\omega)$ 为单边自功率谱密度; G_0 为 $\omega=0$ 时的自功率谱密度值; g 为一个无量纲的量.

将其取对数并进行富氏反变换, 即得倒频谱函数

$$C_{xx}(\tau) = F^{-1}\{\ln g_{xx}(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \ln g_{xx}(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega. \quad (2)$$

上式取对数的目的是为了使频域中的乘积转化为求和, 从而可以将信号分离开来.

在桩基工程检测中, 需要作反射信号分离, 倒谱分析有这一优点. 具体推导过程如下.

设桩顶传感器接收到的入射信号为 $P(t)$, 而反射信号为 $aP(t-\tau_0)$ 表示, 它按反射系数 $a < 1$ 衰减, 并以时间 τ_0 延迟到达接收点, 若测得总信号为 $u(t)$, 则

$$u(t) = P(t) + aP(t - \tau_0), \quad (3)$$

对式(3)作富氏变换, 得

$$u(j\omega) = P(j\omega)(1 + ae^{-j\omega\tau_0}), \quad (4)$$

若记 $F(j\omega) = 1 + ae^{-j\omega\tau_0}$, 则式(4)为

$$u(j\omega) = P(j\omega)F(j\omega), \quad (5)$$

由式(5)及自功率谱密度的第二种定义:

$$S_{uu}(\omega) = S_{pp}(\omega) |F(j\omega)|^2, \quad (6)$$

当 $\omega=0$ 时, 得

$$S_{uu}(0) = S_{pp}(0) \cdot (1 + a)^2, \quad (7)$$

式(6)两边乘以 $2/G_0$, 且将 $|F(j\omega)|^2 = F^*(j\omega) \cdot F(j\omega)$ 代入后, 得

$$\frac{2S_{uu}(\omega)}{G_0} = \frac{2S_{pp}(\omega)}{2S_{pp}(0)} \cdot \frac{2S_{pp}(0)}{G_0} F^*(j\omega) \cdot F(j\omega),$$

即

$$g_{uu}(\omega) = g_{pp}(\omega) \frac{1}{(1+a)^2} (1 + a^2 + 2a \cos \omega\tau_0). \quad (8)$$

对(7)式两边取自然对数, 得

$$\begin{aligned} \ln g_{uu}(\omega) &= \ln g_{pp}(\omega) + \ln \frac{1}{(1+a)^2} + \ln (1 + a^2 + 2a \cos \omega\tau_0) \\ &= \ln g_{pp}(\omega) + \ln \frac{1+a^2}{(1+a)^2} + \ln (1 + \frac{2a}{1+a^2} \cos \omega\tau_0). \end{aligned} \quad (9)$$

因为对一切 a , $\left| \frac{2a}{1+a^2} \right| < 1$ (只有 $a = \pm 1$ 时, 此式才为 1), 故 $\ln (1 + \frac{2a}{1+a^2} \cos \omega\tau_0)$ 可按泰勒级数展开, 故有:

$$\begin{aligned} \ln g_{uu}(\omega) &= \ln g_{pp}(\omega) + \ln \left[\frac{1+a^2}{(1+a)^2} \right] - \frac{a^2}{(1+a^2)^2} + \frac{2a(1+3a^2+a^4)}{(1+a^2)^3} \cos \omega\tau_0 \\ &\quad - \frac{a^2(1+4a^2+a^4)}{(1+a^2)^4} \cos 2\omega\tau_0 + \frac{2a^3(1+5a^2+a^4)}{3(1+a^2)^5} \cos 3\omega\tau_0 + \dots \end{aligned} \quad (10)$$

对上式作富氏反变换, 并注意到

$$\begin{aligned} F^{-1}(1) &= \delta(\tau), \\ F^{-1}(\cos n\omega\tau_0) &= \frac{1}{2} [\delta(\tau - n\tau_0) + \delta(\tau + n\tau_0)] \\ &\quad (n=1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (11)$$

故得 $\tau > 0$ 时的倒频谱函数为

$$C_{ss}(\tau) = F^{-1}[\ln g_{pp}(\omega)] + \left[\ln \frac{1+a^2}{(1+a)^2} - \frac{a^2}{(1+a^2)^2} \right] \delta\tau + \frac{a(1+3a^2+a^4)}{(1+a^2)^3} \cdot \delta(\tau - \tau_0) - \frac{a^2(1+4a^2+a^4)}{2(1+a^2)^4} (\tau - 2\tau_0) + \frac{a^3(1+5a^2+a^4)}{3(1+a^2)^5} \cdot \delta(\tau - 3\tau_0) + \dots \quad (12)$$

如果忽略 $a^2 \ll 1$, 得到频谱函数近似式:

$$C_{ss}(\tau) = F^{-1}[\ln g_{pp}(\omega)] + a\delta(\tau - \tau_0), \quad (13)$$

由上式可知, 测得信号的倒谱由入射信号的倒谱和反射信号的倒谱组成. 上式最后一项是反射信号倒频谱且为 δ 函数, 理论上应无穷大(但数值分析结果应为有限大), 在倒谱图上反射信号会出现高大峰值, 并与入射信号延迟 τ_0 , 使之与入射信号很明显分开, 这就是倒频谱法的优点.

从倒谱图上判别桩底反射和缺陷反射时间及缺陷性质的方法是:

(1) 在倒谱图上找到反射的脉冲时间 τ_0, τ_0 处的倒谱峰应是极大值, τ_0 即为一个缺陷或桩底反射时间;

(2) 如果有两个反射脉冲, 对应时间不是倍数关系, 则一般来讲, 第一个脉冲表示桩的缺陷, 第二个脉冲为桩底反射;

(3) 根据反射波法理论证明: 反射信号与入射信号同向, 表示桩身存在缩颈缺陷, 反之, 反射信号与入射信号反向, 表示桩身有扩颈缺陷.

2 实例

用上述倒谱原理, 对实际桩基工程进行信号检测和倒谱分析, 我们将看到, 用倒谱图, 反射信号峰值很明显, 而反射波用时域图来分析, 在时域图上反射信号不明显. 以下几例是这两种方法用的时域图和倒谱图的反射信号对比情况.

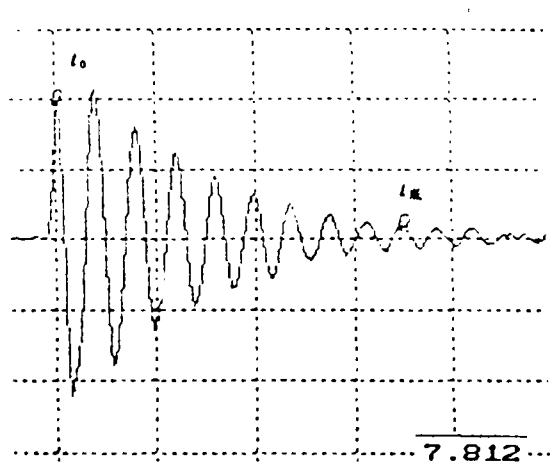


图 1a

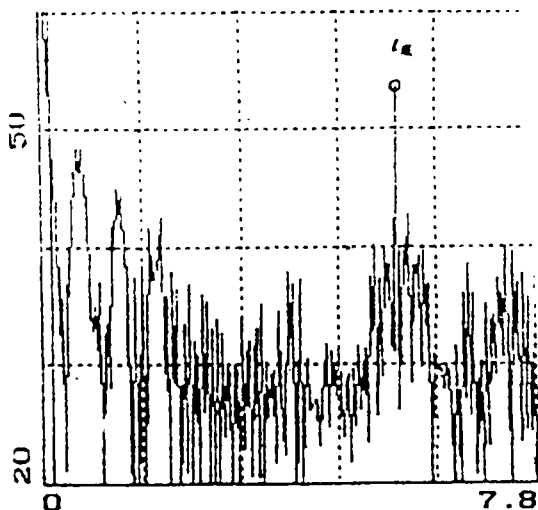


图 1b

例1 红宝石大厦120号桩,该桩长8.9 m,桩颈1.1 m.图1a为实测的时域图,图1b为其倒谱图,从时域图上桩底反射信号不明显,而倒谱图上桩底反射信号突然上升很高.

例2 为1号实验用灌注桩,桩长5.5 m,桩颈1 m.该桩3.5 m处严重缩颈.图2a为时域图,图2b为倒谱图.第一个脉冲为缺陷反射,反射时间 $t_1 = 1.95$ ms,第二个为桩底反射时间 $t_2 = 3.1$ ms.计算出波速 $C = 3548$ m/s,计算出缺陷位置为3.46 m,与实际位置3.50 m一致.

例3 为试验用预制桩,第一节长8.7 m,第二节长9.1 m,用钢板联结成总长为17.8 m的桩,桩颈0.4 m.图3a为时域图,图3b为倒谱图.从图上得到桩底反射时间8.24 ms,计算出波速4320 m/s,接缝处反射时间为3.9 ms,计算出接缝位置8.5 m,与实际位置接近.但倒谱图反射信号明显.

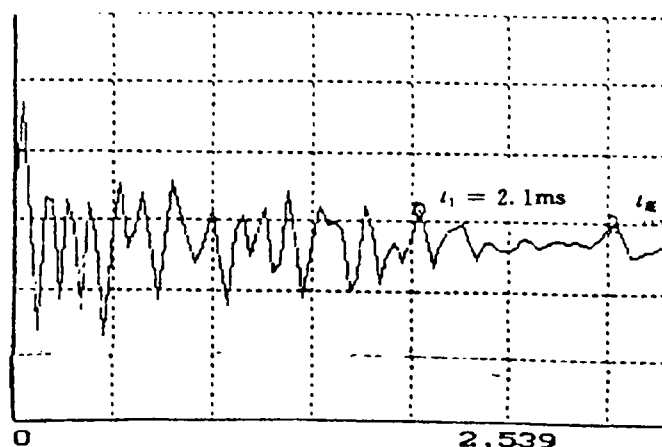


图 2a

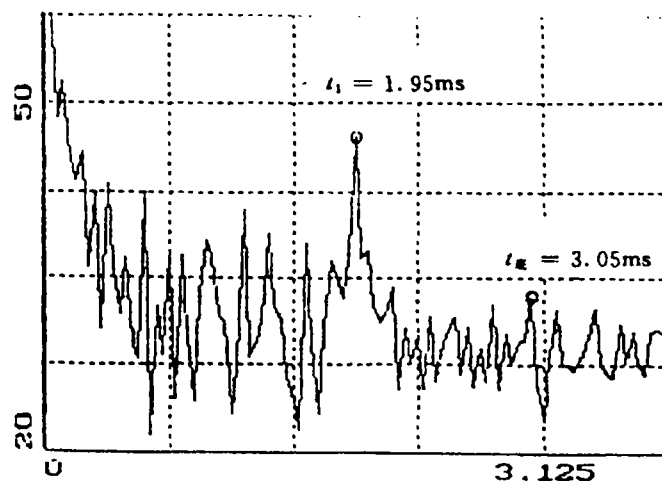


图 2b

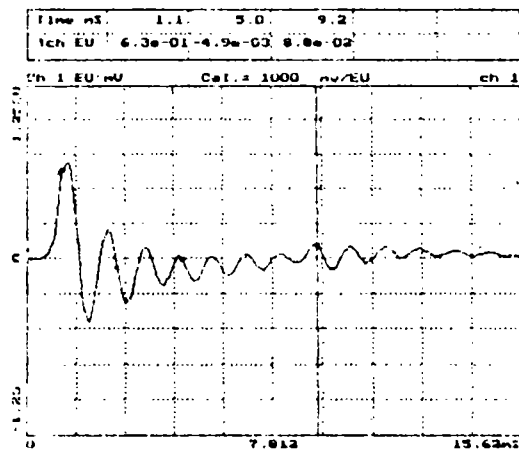


图 3a

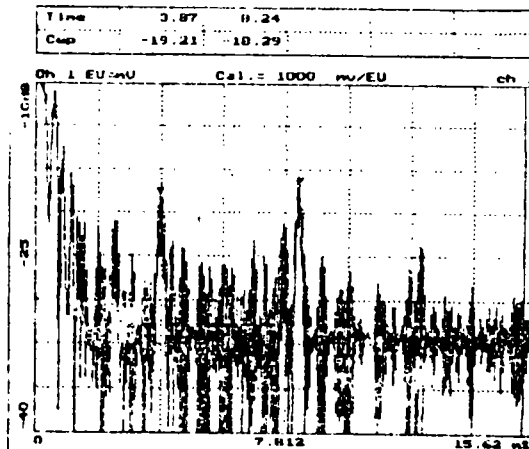


图 3b

从上述实例证明,用倒谱分析,反射信号明显,可进一步提高桩基的检测质量,防止桩身缺陷的漏判和误判.

参 考 文 献

- 1 汪风泉. 基础结构动态诊断. 南京:江苏科学技术出版社,1992
- 2 H. G. 纳特克. 时间序列和模态分析的理论与实践导论. 北京:电子工业出版社,1988

The Principle and Applications of the Cepstrum Analyses Method to the Judgement of the Pile body Quality

Lǚ Shaodi

Abstract After a brief review of the principle of the Cepstrum analyses, this paper throws its focus on applications of this method to the judgement of the pile integrity quality and three pile cepstrum are caculated. The result shows that the cepstrum method is better compared with the traditionally - used reflected wave method at some location. By using the cepstrum analysis, it is easily distinguish the reflected signals from the incident(signals).

Key words Cepstrum Analyses; Pile integrity quality

(上接第 49 页)

The Application of Branch Map in Sequential Logic Circuit Design

Qian Biyun

Abstract The design process of sequential logic circuit, which's one of the major difficulties is to seek the simplest state transform diagram, and how to define the transform diagram and the method of getting state transform diagram with branch map are discussed by instancing the sequence detector. Then the possibility of using computer aided design is also discussed. The amount of work would reduce from infinite order to 2 order by branch map, using the computer to seek state transform diagram. Finally it is pointed out that branch map method is also suitable for designing other sequential logic circuit which has input signal.

Key words Branch map, Sequential logic circuit; Design; Application