

文章编号: 1005—0523(2007)01—0044—03

瞬态瑞雷波在地层勘探中的应用

陈旭杭¹, 伍明辉², 胡淑兰³

(1. 同济大学 结构工程和防灾研究所, 上海 200092; 2. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:根据瞬态瑞雷波的传播特性和测试原理, 使用振动及动态信号采集分析系统采集分析了测试工点的瑞雷波信号, 并得到了测试工点的地层分布情况和各层的物理特性.
关 键 词:瑞雷波; 振动分析; 剪切波
中图分类号:TU435 **文献标识码:**A

1 引 言

瞬态瑞雷波勘探是近年来发展起来的一种新型的岩土原位测试勘探方法, 和传统的单孔法和跨孔法相比, 由于采用瞬态瑞雷波测试浅层地表的土层性质时不需要破坏地表, 仪器和测试方法也相对简单, 携带和操作方便, 同时所需费用和时间也比较少. 复杂的数据处理有了相关的测试仪器的帮助后, 这一工作也可以轻松地由专业的软件来完成, 具有高效快捷的特点. 正是瞬态瑞雷波测试的这些优点使得它在地质勘探和强夯地基测试^[1]中有了广泛的应用. 基于瞬态瑞雷波的测试原理, 本文采用常见的振动测试仪结合振动分析软件, 分析测试工点的土层分布情况和各土层的物理特性等, 这可以很方便地为振动敏感点的数值仿真分析提供第一手地质资料.

2 瞬态瑞雷波特征和测试原理

根据弹性力学理论, 当竖向激振力作用于均质地基表面时, 地基表面和内部由近及远发生弹性波的传播现象, 其中包括压缩变形产生的纵波(*P* 波)和剪切变形产生的横波(*S* 波), 当这两种波耦合时生成了能量大的瑞雷波(*R* 波). 在地表传播的三种弹性波的能量比例分别为: *R* 波占 67%, *S* 波占

26%, *P* 波占 7%, 其中 *R* 波所占的能量最大, 衰减速度慢, 而且波速和 *S* 波的波速相差不大, 基于这样的特性人们就考虑采用更容易实测的 *R* 波速度来确定地基的 *S* 波速度. 由半波长理论可知, 所测量的瑞雷波的平均速度 v_R 可以认为是 $1/2$ 波长深度处介质的平均弹性参数^[2], 该特性为利用瑞雷波进行浅层勘探提供了理论依据. 瑞雷波测试包括在介质表面采用不同大小的振源进行激振, 并在其他两点或更多测试点布置传感器接受由振源传播过来的振动信号, 传感器的布置一般采用与振源成一条直线(见图 1)或辐射状排列. 在直线型分布测试中, 测试工点与振源之间的距离以及传感器之间的距离保持相等. 采用小锤激振时, 产生的主要是高频信号, 宜采用较小的间距布置传感器; 采用大锤激振时, 产生的主要是低频信号, 宜采用较大的间距布置传感器. 振源信号通过二传感器间距 D 的时间为 t , 相速度和相应波长的计算公式分别为:

$$V_R = \frac{D}{t} \quad \varnothing = \omega t = 360ft \tag{1}$$

$$V_R = f \frac{360}{\varnothing} D \tag{2}$$

$$\lambda_R = \frac{V_R}{f} \tag{3}$$

其中 V_R 为瑞雷波相速度(m/s), f 为频率值(Hz), $\varnothing$ 为特定频率下瑞雷波在两传感器之间介质传播时产

生的相位差角($^{\circ}$), D 为传感器之间的间距(m), λ_R 为特定频率下对应的瑞雷波波长(m). f 和 Φ 可以由振动分析软件求得的相位差曲线(见图 3)中的横坐标和纵坐标获得, 而剪切波波速和瑞雷波波速的关系为:

$$V_s = \frac{1 + \nu}{0.87 + 1.12} \quad (4)$$

V_s 为剪切波波速, ν 为泊松比.

不同大小的激振源所产生的瑞雷波波长和波速都不一样, 能量较小的激振源主要产生高频信号, 波长较短, 反映的是浅层土的特性, 而能量较大的激振源主要产生低频信号, 波长较长, 反映了较深土层的特性. 对采集的时域信号进行相关分析得到两信号的在频域内相干系数和相位差, 随后采用上述瑞雷波波速计算公式可以得到测试工点处瑞雷波波长与波速关系的实测频散曲线, 最后采用程序对实测频散曲线进行拟合可以得到一条随不同深度变化的剪

切波波速曲线, 曲线拐弯处为地层分界面. 剪切波的波速能反映地基的物理特性, 根据不同深度土层的剪切波波速分布可以反求得到各土层的物理特性.

3 实例分析

为验证测试分析的正确性, 测试地点选在已知地层分布情况的一个开挖工地旁边, 测试仪器采用信号采集器 AZ116 和信号放大器 AZ208, 传感器采用速度传感器 891, 分析软件采用振动及动态信号采集分析系统软件 CRAS V6.1. 振源处采用不同大小的铁锤以及落重进行激振, 为增强激振效果, 在激振点处放置一块正方形的铁板, 将铁板固定在地表上, 防止激振时铁板跳起. 两传感器在中心线两旁对称分布, 正反激振源和两传感器都处于同一直线上, 具体的布置、采集原理如图 1 所示.

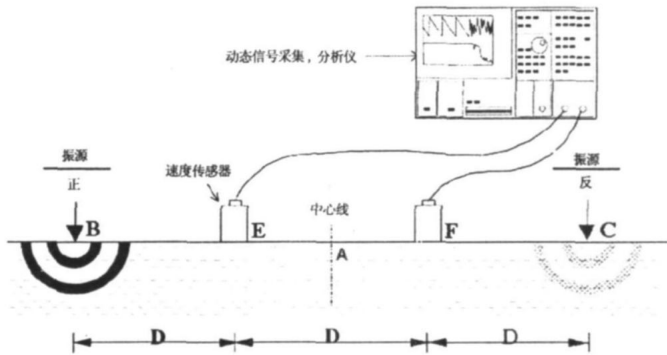


图 1 瑞雷波野外测试原理图

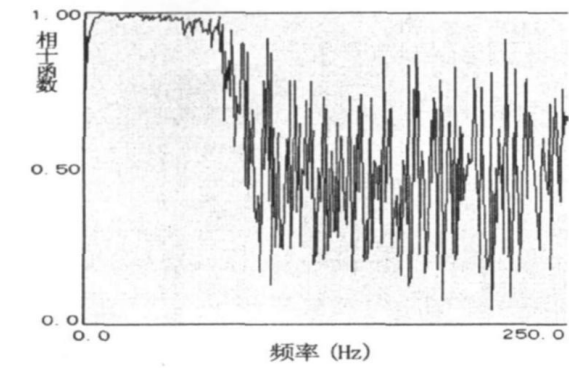


图 2 两信号的相干函数

振源离最近的传感器的距离为 r , 两传感器之间的距离为 D , 为避免两测点间的相对相位差在进行周期修正时出现差错^[3], 两测点的间距和 $r = D$, 且 $1/3 < D/\lambda_R < 1$. 对应不同大小的激振源采用不同大小的间距, 根据测试深度的需要, 本文采用了重量为 10、15、20 磅的激振源, 对应的间距为 2、4、8 米.

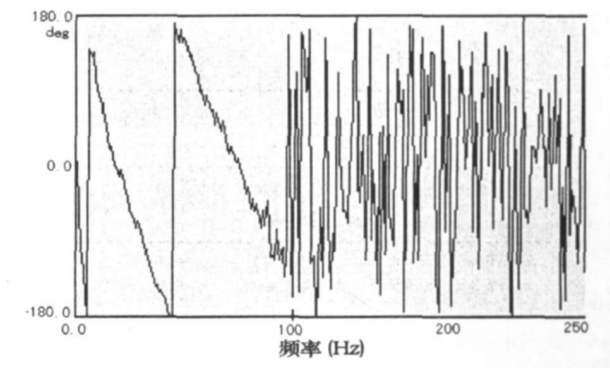


图 3 两信号的相位差

每个间距都正反方向分别激振, 每次信号采集都采用 4 次平均的方式, 以减少随机信号的干扰. 对两传感器采集到的时域波形信号进行互相关分析, 得到两波形信号的相干函数和相位差曲线(见图 2、3). 在频域取相干函数值大于 0.85 的相位差数据进行相位修正, 使所求得的相位呈相对连续性变化

的曲线,从而得到一条比较真实的相频特性曲线(见图4),再由公式(2)、(3)、(4)可计算得到测点的频

散曲线和分析结果(见图5).

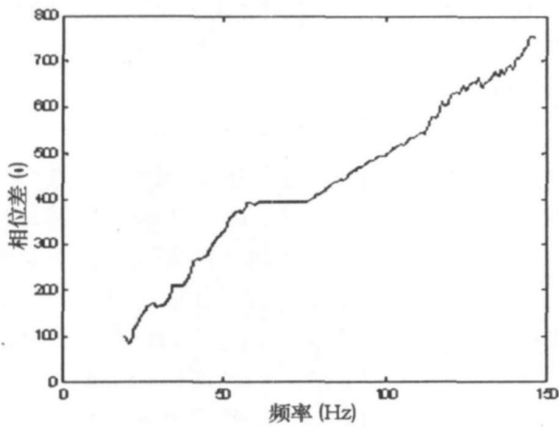


图 4 相位修正

4 结论

- 1) 在对振源的处理上可以加一块铁板,这样比直接在土层上激振效果更好.而且由于是采用多次平均的方法,激振时加上铁板可使多次激振的激振力更相近,平均效果更好.
- 2) 从测试结果来看,受振源大小的限制,不能反映深层地基的性质.而且受水平分层假设的影响,在表层和有一定倾斜的地层处误差比较大,建议采用正反激振取平均值.
- 3) 对相位差进行修正时,要选择低频段相干函

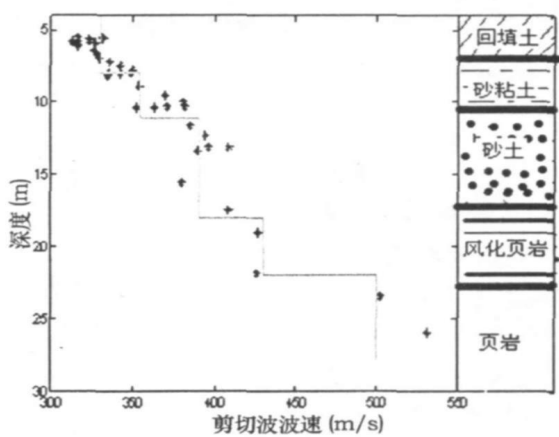


图 5 测试结果

数值大的信号进行计算,防止出现整周期的相位误差.再通过编制程序计算和绘制频散曲线图.整个过程简单易操作,为了解测试点的地质情况提供了一种简单方便的工具.

参考文献:

[1] 巩天真. Rayleigh 波在强夯地基测试中的应用[J]. 电力学报, 2002.
[2] 张献民. 应用瞬态瑞雷波法评价复合地基[J]. 石家庄铁道学院学报, 1995, (8), 102—104.
[3] 陈龙珠, 严细水, 赵永倩. 关于面波法检测地基波速中的测点布置问题[J]. 岩土工程学报, 2003, (1), 63—66.

Application of Transient Rayleigh Surface Wave to the Exploration of stratum

CHEN Xu-hang¹, WU Ming-hui², Hu Shu-lan²

(1. Research Institute of Structural Engineering and Disaster Reduction Tongji University, Shanghai 200092; 2. School of Civil Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: According to the Rayleigh wave ' vibration propagation characteristic and the testing principle, The Rayleigh wave signal is collected and analyzed with the vibration and dynamic signal acquire analysis system in present paper, the distributing of stratum and the physics characteristic of every layers are obtained at the last.

Key words: rayleigh wave; vibration analysis; shear wave