

瞬态瑞雷波法在地基强夯效果检测中的应用

董雪华

景朋涛

王西林

(中国地质大学地球物理系,武汉 430074) (山东正元地理信息工程有限责任公司,济南 250014)

【摘要】 强夯地基质量检测是强夯地基处理中一个十分重要的环节。介绍了瞬态瑞雷波法的探测原理、工作方法及瞬态瑞雷波法在地基强夯效果检测中的实际应用。

【关键词】 瞬态瑞雷波法;地基检测;强夯法

【中图分类号】 TU 753

Application of Transient Rayleigh Wave Method in Inspecting the Foundation Treated by Dynamic Consolidation

【Abstract】 The quality inspection for the foundation treated by dynamic consolidation is Very important. The inspecting principle and field inspecting technique with transient Rayleigh wave method are presented. The practical application of transient Rayleigh wave method in the quality inspection of foundation is introduced.

【Keywords】 transient Rayleigh wave method; foundation detection; dynamic consolidation

0 引言

强夯法经过 20 多年的发展和应用,已适用于处理碎石土、砂土、粉土、粘土、人工填土、湿陷性黄土等地基^[1,2],从而提高土强度,降低压缩性,消除砂土振动液化,消除黄土的湿陷性,提高土层均匀性,减小地基不均匀沉降^[1~6]。目前广泛应用的瞬态面波法也应用于地基强夯效果的检测中,并取得较好效果^[7~9]。

1 概况

山东淄博某电厂扩建工程地基由碎石、土等回填而成。为改善地基的物理力学性质,提高地基土的承载力,决定采用强夯法对地基进行处理,并首先划出 3 个试验区进行强夯试验。2 000 kN·m 强夯试验区为 20 m×20 m 正方形场地,位于山麓斜坡上,回填物主要由粉质粘土、块石组成,其中块石粒径不大于 300 mm。强夯区填土深度约 4~6 m。

2 勘探原理

当地震波在介质中传播入射到弹性界面时,不仅产生反射波、透射波和折射波等体波,在弹性界面附近还存在着—类波动—面波。面波主要沿地下介质的分界面传播,能量随着传播距离的增加而迅速衰减。面波传播的运动学、动力学特征包含着丰富的地下介质信息^[10,11]。瑞雷波勘探主要是利用瑞雷波的如下特性^[12,13]:

1) 分层介质中传播的频散特性。瑞雷波速度在均匀介质中是常数;在非均匀介质中具有频散特性,即波长 λ_R 是频率 f 的函数,一定的频率对应一定的波长。频散特性是瑞雷波勘探的理论基础。当瑞雷波在传播过程中遇到空洞、松散破碎带界面以及波阻抗界面(速度分界面、密度分界面)时,其频散曲线将会发生突然中断或畸变,据此探测不同介质。

作者简介:董雪华,1977 年生,女,汉族,云南保山人,2001 年毕业于中国地质大学(武汉),在读硕士研究生。

E-mail: dongxuehua@163.com

2)瑞雷波振幅按 $1/\sqrt{r}$ (r 为源—检距离) 的规律衰减,大部分能量损失在 $1/2$ 波长深度范围内,这说明瑞雷波某一波长的速度主要与深度小于 $1/2$ 波长的地层物性有关。即瑞雷波的波长不同穿透深度也不同。且波长 (λ_r) 与速度 (v_r) 及频率 (f) 有如下关系: $\lambda_r = v_r/f$ 。当速度不变时,频率越低,测试深度就越大。这也是开展瑞雷波勘探的优越性。

3)传播速度与介质的物理力学性质密切相关。瑞雷波波速度 v_R 与横波速度 v_s 有如下近似关系:

$$v_R = \frac{0.87 + 1.12\mu}{1 + \mu} v_s \quad (1)$$

式中: μ 为泊松比,工程勘察中一般土层的泊松比 μ 为 $0.45 \sim 0.49$, 于是 $v_R = 0.95 v_s$ 。显然可由瑞雷波勘探所得 v_R 值来估算有关介质的岩土及工程动力学参数。

3 野外工作

3.1 实测工作布置

根据工程勘察任务、建筑物的重要性以及场地的特性,本次检测工作共布设面波检测点 12 个。其中强夯施工前 3 个,强夯施工后 9 个,组成 3 条测线。每个面波点都布设在由相邻 3 个夯点构成的等边三角形的中心。因为该点为强夯中最弱的区域。这样可以更好的了解整个实验区的强夯效果。

现场数据采集采用单边放炮,12 道纵排列接收面波。根据现场实验和场地情况,选用偏移距 1.0 m,道间距 0.5 m 和 1.0 m 两种。

3.2 仪器设备及参数选择

本次检测采用 24 道数字增强型浅层地震仪,12 道信号接收电缆。数据采集时仪器参数为:采样间隔 0.25 ms,采样时间 512 ms,全通滤波方式。检波器主频为 4 Hz。采用多次捶击的叠加技术以提高信噪比。

4 数据处理与成果分析

4.1 数据处理

数据处理采用 SWS 专用软件,通过最佳时窗选择、道间互相关、傅立叶变频率—波速

域滤波等步骤得到频散曲线,并根据频散曲线进行分层及层速度计算,通过多次正演、反演拟合得到最佳方案。

4.2 成果分析

1)剪切波速、地基承载力和标准贯入击数分析

地基剪切波速 v_s 与地基土物理力学性质有关,它和土层的标准贯入击数 $N_{63.5}$ 、地基承载力 f_k 值的大小均反映着土层的软硬程度,它们之间存在着良好的相关关系。由中科院工程力学所推荐公式:

$$v_s = 85.34 N_{63.5}^{0.348} \Rightarrow N_{63.5} = 10^{\frac{\lg v_s - 1.931}{0.348}} \quad (2)$$

近年来统计研究证明,地基承载力 f_k 与剪切波速 v_s 之间服从指数相关关系,即:

$$f_k = A \cdot v_s^B$$

不同地区或同一地区不同性质的土层系数 A 、 B 不同。根据本次工作及本试验区静载荷试验: Z_1 点, $f_k = 316.3$ kPa, $v_s = 200$ m/s; Z_2 点, $f_k = 486.2$ kPa, $v_s = 230$ m/s。

可得: $A = 2.646 \times 10^{-5}$; $B = 3.0758$

$$f_k = 2.646 \times 10^{-5} v_s^{3.0758} \quad (3)$$

由式(2)、式(3)可得土层标准贯入击数 $N_{63.5}$ 、地基承载力 f_k ,见表 1、表 2。

表 1 夯前面波检测成果

层号	层厚/m	层底深度/m	$v_s/(m \cdot s^{-1})$	$N_{63.5}$	f_k/kPa
H ₁	1.6	1.6	233	17	506
H ₂	0.7	2.3	269	27	787
H ₃	0.3	2.6	200	11	316
H ₄	1.0	3.6	238	19	540
H ₅	1.8	5.4	268	25	778
H ₆	3.6	9.0	344	55	1 677
H ₇		>10	541	199	6 751

表 2 夯后面波检测成果

层号	层厚/m	层底深度/m	$v_s/(m \cdot s^{-1})$	$N_{63.5}$	f_k/kPa
H ₁	0.8	0.8	243	20	576
H ₂	2.4	3.2	354	59	1 831
H ₃	1.7	4.9	282	31	910
H ₄	3.0	7.9	337	50	1 574
H ₅		>10	502	158	5 363

由表可见,该场地夯后浅部剪切波速明显提高,由 200~269 m/s 提高到 243~354 m/s;标准贯入击数由 11~27 提高到 20~59;同时地基承载力得到明显改善,由 316~787 kPa 提高到 576~1 831 kPa。由于强夯施工前后面波检测点点位不同,无法进行同一点剪切波速的对比,只是对同一区域的剪切波速进行对比。

对于前面计算所得系数 A 、 B 的值在以后的夯后施工中进行了检验。检验结果为:

面波点 $m1$ (对应载荷试验点 $z1$):公式计算 $f_{k面}=270$ kPa, 载荷实测 $f_{k载}=295.7$ kPa;

面波点 $m9$ (对应载荷试验点 $z3$):公式计算 $f_{k面}=220$ kPa, 载荷实测 $f_{k载}=242.8$ kPa;

面波点 $m14$ (对应载荷实验点 $z5$):公式计算 $f_{k面}=360$ kPa, 载荷实测 $f_{k载}=372.5$ kPa;

计算值与实测值是相近的,由此可见施工中 A 、 B 系数的选取是合适的。

2) 频散曲线特征分析

在层状介质或非均匀介质中,频散曲线上某些特征点的位置反映了地层界面的位置。根据实测频散曲线的变化可以确定地下各层土的物理力学性能的变化及各层土的分界面深度,并由此判断土层加固力学性能改善效果及加固深度。夯前和夯后的面波频散曲线见图 1、图 2。

分析夯前和夯后频散曲线及分层情况,强夯施工加固深度为 3 m 左右,检测点影响深度可达 4~7 m 左右。尤其对比图 1 和图 2 可见,夯前表层土剪切波速 v_s 小于 250 m/s,夯后强夯区表层土剪切波速明显大于 250 m/s,甚至达到 350 m/s,且勘探深度均达到 10 m 以下。以上数据均表明,地基土物理力学性质得到明显改善。此外,夯前频散曲线及夯后频散曲线中 3~6 m 深度出现多“之”字形,6 m 到有效深度内曲线形态呈线性或趋于稳定,表明上覆地基土均匀性不如下伏地基土好。

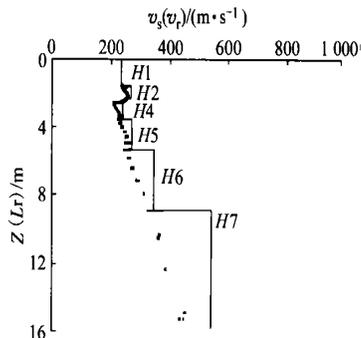


图 1 夯前频散曲线图

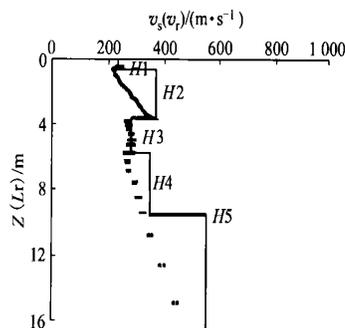


图 2 夯后频散曲线图

3) 物探—地质推断解释

根据各测点频散曲线的特征及剪切波速,结合地质—地球物理条件,将各探测点波速相近的区域化分为同一层,可获得成果断面图(见图 3)。成果断面图中的分层并不是实际意义上的岩性分层,它只是一种以剪切波速为依据的分层。由成果断面图可知,测线 B 探测深度范围内,大致可分为 4 层。第 1 层剪切波速为 190~200 m/s;第 2 层剪切波速为 230~280 m/s;第 3 层剪切波速为 300~410 m/s;第 4 层剪切波速为 610~640 m/s。强夯施工后,在水平方向上,场地浅层土(深度 3 m 以内)强度比较均匀;一般在 7~8 m 以下,地层强度较大且呈均匀分布;在垂直方向上,剪切波速(即土层强度)随深度增加总体上呈增大趋势。

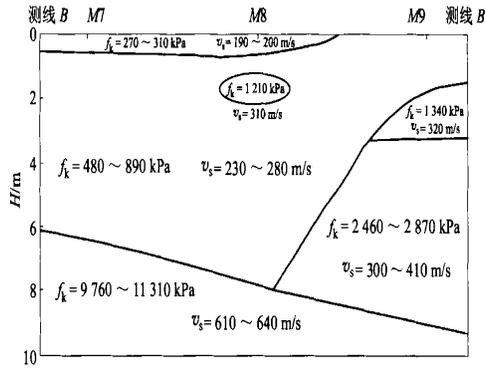


图3 面波检测成果断面图

5 结论

1) 实验区强夯加固深度为3 m左右,检测点影响深度达4~7 m左右;

2) 强夯施工后,地层剪切波速提高26%~47%,地基承载力获大幅提高,一般在570~1 000 kPa以上。地基土物理力学性质得到明显改善;

3) 地基强夯效果的检测主要有瑞雷波法、静载荷实验、标准贯入试验和土工试验4种方法。3种方法各有优点,然而瑞雷波法以其简单易行、快速和有效的特点,在地基强夯效果的检测中占有一定的优势。

4) 瑞雷波法既可进行高密度精查细测,克服以点代面“一孔之见”的弊端,也可按一定比例进行点、线、面抽测,掌握全部场区概况;

5) 在实际的工程应用中,将瑞雷波法和静载荷法、标准贯入法、土工法以及钻孔资料结合起来,可获得更好的工程效果,同时达到不同方法之间相互验证的目的,从而获得更精确的解释结果。

6) 在实际的工程应用中,地下物质的均一性对瑞雷波法的应用具有一定的影响。一般来说,均一性差的场地获得的面波资料不如均一性好的场地。

7) 在实际的工程应用中,应根据不同的地质背景和场地条件选择不同的参数。

参考文献

- 1 王娜. 强夯法加固地基的应用实践. 石家庄职业技术学院学报, 2001, 13(2): 28~29
- 2 王志勇. 强夯地基的几种检测方法. 勘察测试与分析, 2000, 3(11): 40~47
- 3 张淑婷, 常锁亮等. 多道瞬态瑞雷波勘探技术在岩土工程勘察中的应用. 中国煤田地质, 2001, 13(4): 50~52
- 4 耿光旭, 赵刚. 强夯地基检测的有效方法—瑞雷波法. 勘察科学技术, 2002(5): 57~60
- 5 陈奕柏. 瑞雷波法检测复合地基承载力. 土工基础, 1997, 11(4): 9~12
- 6 杨丽萍. 瑞雷波法检测天然地基承载力. 山西建筑, 2001, 27(1): 60~61
- 7 季沧江, 王敏华等. 瑞雷波检测在上海地基处理中的应用. 建筑技术, 32(3): 187~188
- 8 邹喜作. 瑞雷波在软土地基处理效果检测中的应用. 地质找矿论丛, 1999, 14(2): 82~86
- 9 缪林昌, 孙连进等. 瑞雷波法对液化地基的评价研究. 建筑结构, 2001, 31(10): 34~38
- 10 何樵登, 熊维纲. 应用地球物理教程—地震勘探. 北京: 地质出版社, 1991
- 11 杨成林. 瑞雷波勘探. 北京: 地质出版社, 1993
- 12 陈华, 尹健民等. 瞬态瑞雷波法检测堆石体地基强夯效果. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(增): 1897~1899
- 13 王超凡, 邹桂高等. 多道瞬态瑞雷波勘探应用研究. 地质科学, 2002, 37(1): 110~117