

瞬态瑞雷面波在压密注浆地基处理效果评价中的应用

顾夏贤¹ 刘东坤²

(1. 上海市水利建设工程质量监督中心站, 上海, 200232; 2. 上海勘测设计研究院, 上海, 200434)

摘要 目前, 压密注浆处理软弱地基的质量检测方法以载荷板试验、标贯、轻便触探和静力触探为主, 上述方法虽然精度较高但是难以用来进行普测。近期我们将瞬态瑞雷面波技术应用某工程压密注浆地基加固处理效果评价之中, 取得了一定效果。

关键词 瞬态瑞雷面波 压密注浆 地基加固效果 评价

1 引言

压密注浆处理软弱地基在国内外工程中有着广泛的应用, 主要目的是防渗、堵漏、提高地基土的强度和变形模量、进行托换技术和控制地层沉降, 是一种经济、安全、方便的地基处理方法。目前压密注浆质量检测方法以载荷板试验、标贯、轻便触探和静力触探为主, 但这些方法虽然精度较高但是总体上存在试验成本高、周期长、检测样本数量少的不足^[1]。近来, 我们将瞬态瑞雷面波检测技术应用于某工程地基加固处理效果评价之中, 取得了一些成果, 希望能为类似工程提供参考。

2 面波法检测原理及方法

瑞雷面波是一种沿介质自由表面传播的弹性波, 由英国科学家瑞雷 (Rayleigh, 1887) 发现并数学论证, 它与常用的纵波 (P 波) 和横波 (S 波) 不同。弹性波理论分析表明, 在均匀介质中, 面波的振幅随深度增大而减小, 其弹性能量的传播深度和它的波长有关, 波长越长的面波, 它的能量波及地表以下的深度也越大。面波沿地表传播的速度和波及深度内介质的弹性参数有关, 包括介质的密度、压缩和剪切波速度, 而主要的影响参数是介质的剪切波速度^[2]。

均一地层表面激发的面波, 其不同波长组分涉及的深度内介质弹性参数相同, 从而具有相同的传播速度。弹性分层的土层内不同深度的介质弹性参数有差别, 从而面波不同波长组分的传播速度也不同。单一波长 (或单一频率) 组分的面波传播速度称为该波长 (或频率) 的相速度, 不同频率的相速度有差异称为

频散。研究水平层面波的频散特征, 可以求得地层内部不同深度的弹性参数, 这也是面波测深方法依据的基本原理。瑞雷波检测方法原理如下:

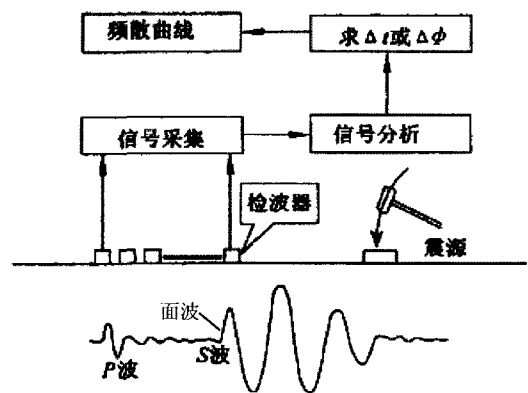


图 1 瑞雷波检测方法示意图

Fig. 1 Sketch of Rayleigh wave test method

实践证明, 瑞雷面波波速 V_R 与剪切波波速 V_S 具有很好的相关性, 其相关式为:

$$V_R = V_S \times (0.87 + 1.12\mu) / (1 + \mu);$$

式中: μ 为泊松比。

对于土介质, 泊松比 μ 在 0.45 ~ 0.50 之间, 即 $V_R \approx 0.95V_S$, 此关系奠定了瑞雷面波在测定岩土体物理力学参数中的应用。

3 工程实例

3.1 工程概况

某促淤圈围工程顺堤共有 10 座临时排水口, 每

个临排均设置 6~10 根 $\varphi 800\text{mm}$ 排水钢管,钢管采用法兰接口,管顶埋深为 6.0m。在堤身土方基本完成或在围堤运行期间,先后有多根钢管法兰接口处发生断裂,引起局部堤身土方明显下沉。临排设施在圈围工程结束后分别实施封堵,对上部堤身的空洞分批多次进行灌水填砂密实,并于近期对临排及附近区域堤身进行压密注浆地基加固,处理深度为 3~6m。根据工程需要和现场实际情况,拟采用瞬态瑞雷面波法对地基加固处理堤段进行无损检测,并对离临排较远处一般堤段进行多处勘探。通过临排处理堤段与一般堤段勘探结果的对比分析,来综合评价压密注浆地基加固效果。

3.2 现场勘探及波速反演分析

根据现场试验,确定现场采集工作参数:道间距为 1.0m,采集道数为 12 道,采样点数为 2048 点,采样间隔为 0.5ms,检波器频率为 4.5Hz,震源方式为锤击,偏移距为 6m。现场采集得到的代表信号见图 2:

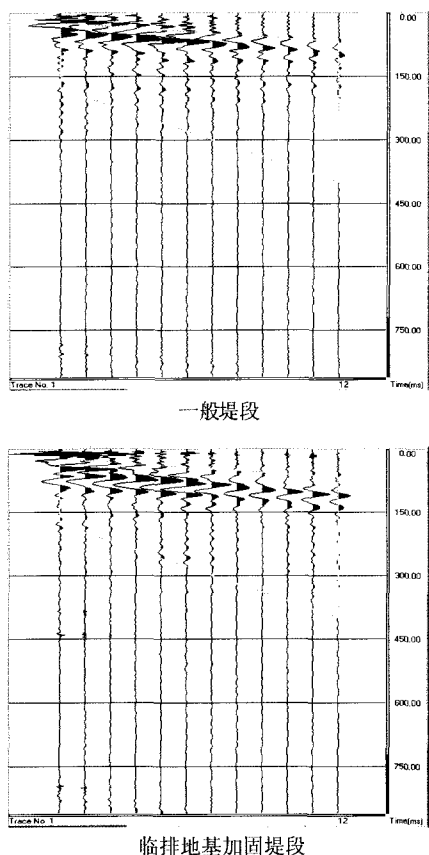


图 2 现场采集的瑞雷面波典型信号

Fig. 2 The typical Rayleigh data collected in situ

根据实测信号可以得到面波频散曲线,本工程地基加固处理范围为 3~6m,因而针对性的将实测

面波频散曲线分成 4 层(0~3m,3~4m,4~5m,5~6m)进行波速反演。典型频散曲线及波速反演曲线见图 3。

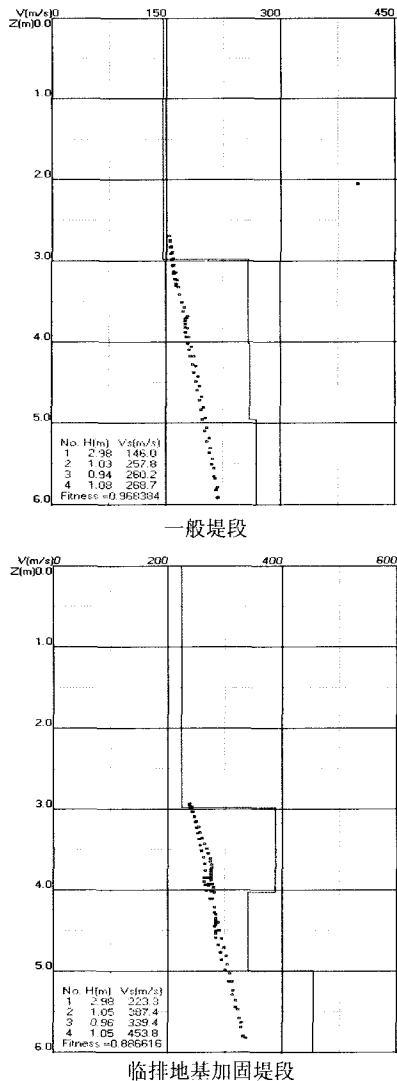


图 3 典型频散曲线及波速反演曲线

Fig. 3 The typical frequency disperse curves and the wave velocity inversion curves

综合分析图 2 和图 3 可以看出,本工程一般堤段和临排加固堤段道间记录较为相似,无明显绕射现象,这说明本工程一般堤段和临排加固堤段堤身基本均匀、无较大空洞或地质疏松体;实测面波频散曲线与波速反演得到频散曲线之间拟合度较高,说明波速反演得到的各层波速基本能反映工程地质实际情况。对一般堤段及各个临排加固区域进行计算分析,其中每个位置的勘探及计算分析点不少于 10 个,并均匀分布于相应部位,计算结果见下表 1。

表 1 实测面波频散曲线波速反演结果汇总表

Table 1 Results of wave velocity inversed from the frequency disperse curves of Rayleigh Wave in situ

勘探位置	土层平均剪切波速 (m/s)			(V 处理后/ V 一般段 -1) * 100%			注浆日期
	3~4m	4~5m	5~6m	3~4m	4~5m	5~6m	
一般堤段	243	257	288	/	/	/	/
1 号临排	282	349	401	16%	36%	39%	7 月 6 日
2 号临排	284	324	341	17%	26%	18%	7 月 1 日
3 号临排	293	316	351	21%	23%	22%	6 月 30 日
4 号临排	338	361	421	39%	41%	46%	6 月 28 日
5 号临排	331	370	403	36%	44%	40%	6 月 24 日
6 号临排	359	403	402	48%	57%	39%	6 月 14 日
7 号临排	330	336	375	36%	31%	30%	6 月 7 日
8 号临排	323	343	377	33%	34%	31%	5 月 31 日
9 号临排	372	398	429	53%	55%	49%	5 月 27 日
10 号临排	336	359	381	38%	40%	32%	7 月 9 日

3.3 结论

综合分析实测面波信号、实测频散曲线和分层波速反演结果,可以得出以下结论:

a. 一般堤段和临排加固堤段,均未发现明显低波速区(即 $V_S \leq 140 \text{m/s}$),由此表明在探测深度范围内(堤顶以下 6 m)无软弱夹层土或空洞隐患;

b. 临排区域地基加固处理后的平均剪切波速明显优于一般堤段,说明压密注浆地基加固效果明显;

c. 注浆较早的区域(5#临排~9#临排,检测时注浆处理时间在 24d~56d 左右),堤顶以下 3~4m、4~5m、5~6m 土层平均剪切波速分别提高 33%~53%、31%~57%、30%~49%,剪切波速提高幅度均不小于 30%。注浆稍晚的区域(1#临排~4#临排、10#临排,检测时注浆处理时间在 10d~23d 左右),堤顶以下 3~4m、4~5m、5~6m 土层平均剪切波速分别提高 16%~39%、23%~41%、18%~46%,剪切波速提高幅度均大于 15%。对比表 1 数据可以发现地基处理后平均剪切波速的提高跟注浆龄期有一定的关系,这符合“龄期长-强度高-剪切波速高”的规律。

综合分析认为:10 个临排位置堤身加固区处理效果显著,整体上土体质量比邻近一般堤段好。

4 结束语

1. 本次将瞬态瑞雷面波勘探用于压密注浆地基加固效果评价,取得了较好的成果。作为一种无损检测方法,瞬态瑞雷面波勘探在压密注浆或类似工程地基加固效果评价中可以进一步实践和推广。

2. 瞬态瑞雷面波勘探用于压密注浆地基加固效果评价速度快、无破损、成本低,通过对实测信号波形和分层波速反演的综合分析可以达到普查的目的,这点明显优于其他检测方法。

3. 根据该工程需要和现场实际情况,本次评价未进行静力触探等较直观、易判的检测工作。建议在条件允许时将瞬态瑞雷面波勘探与静力触探等方法综合使用,做到“面-点”结合,通过对比分析,达到综合评价的目的。

参考文献

- [1] 季沧江等. 瑞雷波检测在上海地基处理中的应用[J]. 《建筑技术》第 32 卷,第 3 期:187-188.
- [2] 杨成林. 瑞雷波勘探[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [3] 吴世明等. 岩土工程波动勘测技术[M]. 北京:水利电力出版社,1992.
- [4] 王振东. 浅层地震勘探应用技术[M]. 北京:地质出版社,1994.

Application of the transient Rayleigh wave in evaluating foundation reinforcement effect using compaction grouting method

Gu Xiaxian¹ Liu Dongkun²

(1. Shanghai Water Projects Quality Supervision Center, Shanghai, 200232

2. Shanghai Investigation, Design & Research Institute, Shanghai, 200434)

Abstract: The plate loading test, the standard penetration test, the portable and cone penetration test are the main and precise methods to test the quality of soft foundation reinforcement with compaction grouting method. However, they are difficult to be used generally. The transient Rayleigh wave technique is used to evaluate the treatment effect quality of compaction grouting foundation reinforcement.

Key words: transient Rayleigh wave, compaction grouting, foundation reinforcement effect, evaluation

(上接第 24 页)

5.4 如何消除局部磁异常的影响,拟采用磁三分量梯度测量法进行进一步研究。

参考文献

[1] 王永等. 非开挖工艺敷设地下管线探测技术综合研究报告(R). 上海市地质调查研究院, 2008, 12.

[2] 付敬奇. 智能磁方位传感器设计[J]. 仪器仪表学报, 2004, 8.

[3] 王岚等. HMC2003 磁阻传感器在钻孔测斜仪中的应用[J]. 西部探矿工程. 2008. 6.

[4] 袁少杰等. 一种新型地下管线方位测量与重建方法[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2006. 12.

[5] 李均瑶等. 电子罗盘在非开挖地下管线三维探测中的应用[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2008. 4.

[5] 刘病云等. 基于磁阻传感器的组合定位系统及误差补偿[J]. 测控技术, 2001. 2.

Study on technology of detecting deep underground pipelines with small diameter based on the attitude measurement

Si Yongfeng

(Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai, 200072)

Abstract: Since it is very difficult to detect deep underground pipelines accurately in cities, a method based on the attitude measurement to solve the problem is introduced in this paper. After figuring out the formulas to describe the tangent directions of discrete points on a spatial curve by three-component magnetic field and gravity field and analyzing the method of error correct, we made a instrument of the principle and did some experiments. From the results of tests, some conclusions are obtained and the advantages and disadvantages are presented.

Key words: attitude measurement, trenchless pipeline detection, spatial curve