

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2008.05.018

探地雷达和浅层地震波法在海堤抛石层探测中的应用

葛双成¹,叶可来²,梁国钱¹,吴雄伟¹,刘超英¹,何耀辉¹

(1.浙江省水利河口研究院,浙江 杭州 310020;2.三门县水利局,浙江 台州 325700)

摘要 介绍探地雷达、瑞雷波法和地震映像法的基本原理及特点,针对海堤抛石断面结构分层及其物性特征,以浙江东部某海堤为例,综合运用探地雷达、瑞雷波法和地震映像法,高效、可靠、准确地探明了抛石层的分布范围及深度。探测实践表明,探地雷达具有快速、连续和整体性的优势,瑞雷波法具有较强的纵向分辨能力,地震映像法具有较强的横向分辨能力,这 3 种方法分别从浅层人工地震波场和电磁场方面反映探测对象和目标,起到了较好的互补和综合作用。

关键词 海堤 抛石层探测 探地雷达 瑞雷波法 地震映像法

中图分类号 S277.4+2 P315 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2008)05-0071-03

Application of ground-penetrating radar and shallow seismic wave method to detection of riprap layer in a sea dike//GE Shuang-cheng¹, YE Ke-lai², LIANG Guo-qian¹, WU Xiong-wei¹, LIU Chao-ying¹, HE Yao-hui¹ (1. Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou, 310020; 2. Hydraulics Bureau of Sanmen County, Taizhou 325700, China)

Abstract : The basic principles and characteristics of the ground-penetrating radar method, the Rayleigh wave method and the seismic imaging method are described. With a sea dike in eastern Zhejiang Province as an example, the three methods are comprehensively applied to detect the range and depth of the riprap layer. The detection results show that the round penetrating radar method possesses advantages such as high speed, continuous detection and convenient operation; and that the Rayleigh wave method has a high vertical resolution while the seismic imaging method has a high transversal resolution. These three methods play a good integrated and supplementary role in the detection of buried targets, from the aspect of the shallow seismic wave field and the electromagnetic field.

Key words : sea dike; riprap layer detection; ground-penetrating radar; Rayleigh wave method; seismic imaging method

在软土地基海堤工程中,起挤淤置换作用的抛石层是基础和堤身的重要组成部分,其落底深度、断面形态和尺寸直接影响海堤的稳定性。因此,抛石层探测对工程质量控制和土石方计量十分重要。国家行业标准 JTJ/T 258—1998《爆炸法处理水下地基和基础技术规程》规定,可采用体积平衡法、钻孔探摸法及探地雷达等方法检测海堤抛石层落底高程及断面尺寸。在工程实践中,已不乏探地雷达结合少量钻探方法的成功实例^[1-4],而对其他物探方法的综合运用和探索较少。浙江东部某海涂围堤工程建设中,针对实际探测断面结构分层的特点及物性特征,采用探地雷达、瑞雷波法及地震映像法等多种方法进行海堤抛石层探测,取得了较好的效果。

1 工程概况

某海涂围堤工程建于浙江东部沿海的深厚软土

地基上,采用塑料板排水固结法地基处理和抛石结构基础,海堤断面主要为直立墙与镇压平台结合的复式结构土石混合堤型。该工程涂面高程为 -2.0 ~ -7.4 m。地基土层自上而下分别为淤泥、淤泥质黏土、砂和砂砾石。淤泥和淤泥质黏土层厚 12 ~ 18 m。抛石采用附近山体的熔结凝灰岩。

为防止堤内侧取土影响海堤稳定性,在堤内侧 60 ~ 100 m 处筑有 1 条附堤。附堤堤顶高程为 2.0 m,设计时预测抛石底高程为 -2.5 m。但从实际施工中掌握的情况看,抛石底高程可能已低于 -2.5 m。此外,由于对附堤抛石施工程序无特别要求,其涂面以下的断面既可能是梯形,也可能是上部梯形、下部倒梯形以及类似的组合形式,情况较复杂。为查明附堤抛石层分布范围,采用探地雷达、瑞雷波法及地震映像法进行综合探测。

基金项目 浙江省自然科学基金(Y506286)
作者简介 葛双成(1964—),男,浙江浦江人,教授级高级工程师,硕士,从事岩土工程、水利工程与地球物理研究。E-mail :gesc163@163.com

2 探测法基本原理及技术特点

2.1 探地雷达

探地雷达^[3-7]是将高频电磁波(主频 10 ~ 10³ MHz)以宽频带短脉冲形式由地面通过发射天线 T 送入地下,经地下地层或目标体反射后返回地面,为接收天线 R 所接收。当地下介质的波速 $V(\text{m/ns})$ 已知时,可根据测得的脉冲波旅行时间 $t(\text{ns})$ 求出反射体的深度 $h(\text{m})$ 。电磁波在介质中传播时,其波强度与波形将随所通过介质的电性及几何形态而变化。因此,根据接收到波的旅行时间(亦称双程走时)、幅度及波形资料,可推断介质性质及分布结构。当介质的导电率很低时,电磁波传播的速度可由 $V = c/\sqrt{\epsilon_r}$ 近似算出。其中 c 为光速($c = 0.3 \text{ m/ns}$), ϵ_r 为地下介质的相对介电常数(可利用已知值或测量获得)。在实际探测中, V 一般可利用已知目标体的反射时间求取,或根据钻孔揭示层位进行标定,也可以结合其他探测方法综合确定。

2.2 瑞雷波法

瑞雷波^[8-10]是由弹性波的干涉而产生于分界面处,并沿界面传播的一种弹性波。在多层介质中,瑞雷波具有明显的频散特性,它沿地面表层传播,影响表层的深度约 1 个波长,不同波长瑞雷波的传播特性反映不同深度的地质情况,其速度值的大小与介质的物理特性有关,由此可对岩土的物理性质做出评价。在实际工作中,利用瑞雷波处理软件通过时间域开窗提取和 $f-k$ 域提取将各个频率分离开来,从而获得瑞雷波波速随深度的变化曲线,即瑞雷波频散曲线。通过分析每个测点的频散曲线便可了解地下介质分层等情况。

2.3 地震映像法

地震映像法^[10-12]又称高密度地震勘探、地震多波勘探或垂直反射波法,是近年来基于反射波法中的最佳偏移距技术发展起来的。它以等偏移距或零偏移距激发宽频带弹性波,以共偏移距方式,近激发点、宽频带、快速高密度采集多波列弹性波映像,映像中含有直达波、瑞雷波、来自不均匀介质体的绕射波、反射波等。通过分析映像图中的绕射波、反射波等特征,可以判断地下介质体的分布情况。

3 探测技术方案

3.1 物理前提分析

实际探测断面大致有 2 种类型:一是沿堤轴线的纵剖面及垂直堤轴线的横剖面堤顶部分,由上到下的介质层分别为抛石层、泥石混合层、淤泥层;二是垂直堤轴线的横剖面两侧部分,分别为闭气土层

(淤泥)、抛石层、泥石混合层、淤泥层。

海水、块石、淤泥、砂、黏土等介质之间有较明显的物性差异^[13-15],具备探地雷达、瑞雷波法和地震映像法检测的基本物理条件。另一方面,也说明抛石层的物性较复杂,再加上实际断面和探测环境的复杂性,探测难度较大。因此,在实际检测工作中需要钻探控制和标定,或采取多种方法探测及综合解释才能取得较好的效果。

3.2 技术参数选择

本次雷达探测使用美国 SIR-20 型探地雷达,采用 100 MHz 和 40 MHz 工作频率的 2 种天线进行单通道点测(点距 1 m)或连续剖面测量,增益为 5 级放大,采样率 512,带通分别为 25 ~ 200 MHz 和 15 ~ 90 MHz。瑞雷波测试和地震映像探测采用北京水电物探研究所研制的 SWS-1G 型工程勘探与检测系统及相应的分析软件系统。瑞雷波测试时,检波器频率为 4 Hz,道间距为 1 m,偏移距为 10 m,15 m,20 m,采样间隔为 0.50 ms。地震映像探测时,检波器频率为 28 Hz,道间距为 0.50 m,偏移距为 5 m,采样时间间隔为 0.50 ms。

4 探测成果分析

图 1 所示为桩号 0 + 518 断面瑞雷波测试所得频散曲线,由图 1 可见抛石底界深度约为 6.1 m。图 2 所示为桩号 0 + 518 断面的雷达反射图像,据反射波变化特征分析,抛石底界深度约为 6.1 ~ 6.8 m,底界宽度为 6.0 m。

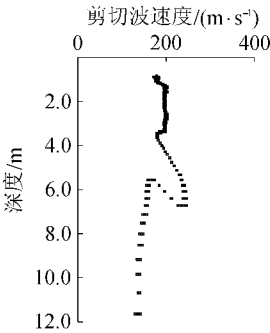


图 1 桩号 0 + 518 处瑞雷波频散曲线

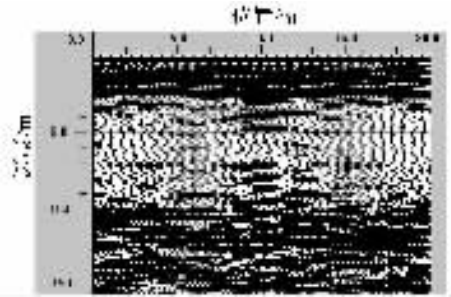


图 2 桩号 0 + 518 断面雷达图像(视屏图)

图 3 所示为桩号 0 + 000 ~ 0 + 040 中轴线的地

震映像图,据反射波组及绕射波特征分析,按波速300 m/s 计算,抛石底界深度约为 5.6 ~ 7.2 m。图 4 所示为桩号 0+000 ~ 0+040 中轴线上 0+040 处瑞雷波测试所得频散曲线,由图 4 可见抛石底界深度约为 5.1 m。图 5 所示为桩号 0+000 ~ 0+040 中轴线的雷达反射图像,据反射波变化特征并结合瑞雷波频散曲线和地震映像图综合解释,抛石底界深度约在 5.1 ~ 6.3 m 范围内起伏变化。

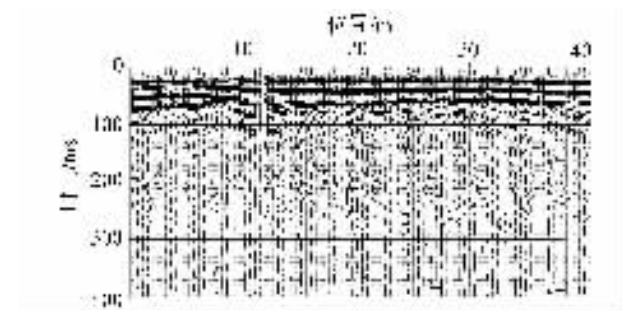


图 3 桩号 0+000 ~ 0+040 中轴线地震映像图(视屏图)

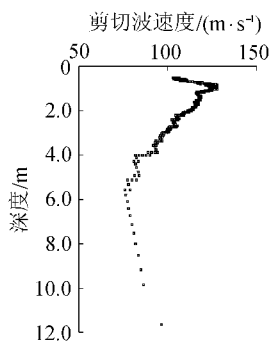


图 4 桩号 0+040 处瑞雷波频散曲线

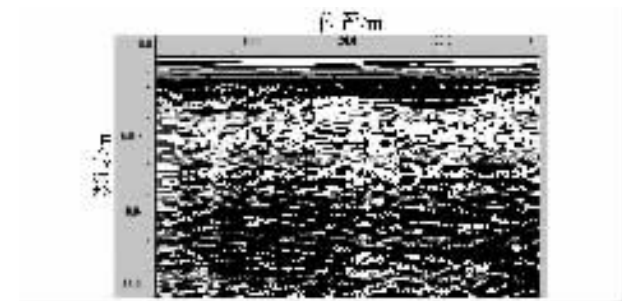


图 5 桩号 0+000 ~ 0+040 中轴线雷达反射图像(视屏图)

在该探测实例中,瑞雷波法主要是利用瑞雷波速度随深度的变化特征,即在速度分层方面较为精确,纵向分辨能力强,所以相应的测量深度也较为精确,在一定程度上起到了深度标定的作用。地震映像法主要通过反射波和绕射波变化特征分析,横向分辨能力强。探地雷达法则充分利用雷达反射图像的运动学和动力学信息,综合分析确定各介质层深度及其变化情况。采用 3 种方法可分别通过地震波和电磁场特征分析,对不同深度范围及整体性判断进行互补和综合,从而高效、可靠、准确地探明抛石层的分布范围及深度。

5 结 语

通过海堤抛石断面的闭气土层、抛石层、泥石混合层和淤泥层等结构分层特点和物性参数分析,以及通过实际工程的探测表明,采用瑞雷波、地震映像和探地雷达等多种方法进行探测并综合解释,可以高效、可靠、准确地探明抛石层的分布范围及深度。探测实践表明,瑞雷波法因其纵向分辨能力强而起深度控制和标定作用,地震映像法具有较强的横向分辨能力,探地雷达则显示出其快速、连续和整体性的优势,这 3 种探测方法分别从浅层人工地震波场和电磁场方面反映探测对象和目标,起到了较好的互补和综合作用。

参考文献:

- [1] 王东升. 抛石挤淤法处理软基的应用和分析[J]. 地基处理,2003,14(1) 31-39.
- [2] 李忠. 建设防波堤中有关应用爆破挤淤的质量监理[J]. 水运工程,2000(11) 52-56.
- [3] 武可贵,程学标. 探地雷达在工程地基检测中的应用研究[J]. 水运工程,1997(9) 5-8.
- [4] 邓世坤. 探地雷达用于深圳湾软基处理工程中的质量检测[J]. 岩土工程学报,2000,22(1) 33-35.
- [5] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [6] 雷林源. 探地雷达应用中的几个基本问题[J]. 物探与化探,1998,22(6) 408-414.
- [7] 王水强,万明浩,谢雄耀,等. 不同地质雷达测量参数对数据采集效果的影响[J]. 物探与化探,1999,23(3) 211-215.
- [8] 张碧星,鲁来玉,鲍光淑,等. 瑞雷波勘探中“之”字形频散曲线研究[J]. 地球物理学报,2002,45(2) 263-274.
- [9] 祁生文,孙进忠,何华,等. 瑞雷波勘探的研究现状及展望[J]. 地球物理学进展,2002,17(4) 630-635.
- [10] 蔡靖,张献民,王建华,等. 面波与震动映像结合的防渗墙无损检测技术[J]. 水利水电科技进展,2005,25(2): 40-42.
- [11] 刘江平,陈超,候卫生. 浅层地震映像法在堤坝无损检测中的应用[J]. 人民长江,2002,33(5) 26-28.
- [12] 刘江平,张丽琴,张友明,等. 浅层地震技术在大堤防(隔)渗墙质量检测中的应用[J]. 物探与化探,2000,24(4) 302-306.
- [13] SL326—2005,水利水电工程物探规程[S].
- [14] 王兴泰. 工程与环境物探新方法新技术[M]. 北京:地质出版社,1996.
- [15] 莫撼. 水文地质及工程地质地球物理勘察[M]. 北京:原子能出版社,1997.

(收稿日期 2007-12-25 编辑 高建群)