

面波与震动映像结合的防渗墙无损检测技术

蔡 靖¹, 张献民¹, 王建华², 赵晓艳³

(1. 中国民用航空学院交通工程学院, 天津 300300; 2. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072;
3. 河北工业大学土木工程学院, 天津 300032)

摘要 应用高密度震动映像进行模型墙试验, 结果表明, 墙体高密度震动映像反射波到达时间早、主频值较高的地段强度较高, 反之亦然。通过现场剪切波速测试及分析, 引入波速变异系数, 建立墙体均匀性评价标准; 以墙体周围土体剪切波速为基准, 利用最小剪切波速评价墙体局部质量缺陷, 从而建立起应用瞬态面波法定性评价墙体均匀性和局部缺陷的标准。由此, 形成了一种简便、快捷、从整体到局部的适用于堤坝防渗墙的无损检测方法。

关键词 震动映像 防渗墙 瞬态面波 无损检测

中图分类号: TV698.1 文献标识码: B 文章编号: 1006-7647(2005)02-0040-03

Surface wave and seismic image combined nondestructive detecting technology for impermeable walls//CAI Jing¹, ZHANG Xian-min¹, WANG Jian-hua², ZHAO Xiao-yan³(1. College of Transportation Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300060, China; 2. Geotechnical Engineering Institute of Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. School of Civil Engineering of Hebei University of Technology, Tianjin 300032, China)

Abstract The model wall in situ test performed by use of high-density seismic images shows that the strength of the wall section is relatively higher if the reflective wave of seismic images with higher main frequency arrives earlier, and vice versa. A homogeneity evaluation standard for the impermeable wall was established by in situ detection and analysis of the shear wave velocity and introduction of the wave velocity differential coefficient. With the shear wave velocity of surrounding soil taken as a datum mark, local defects of the impermeable wall were evaluated by use of the minimum wave velocity. In this way, another standard for qualitative evaluation of the homogeneity and local defects of impermeable walls with the instantaneous surface wave method was also developed. Thus, a simple and rapid nondestructive detecting method suitable for impermeable walls from the integral to the part was formed.

Key words: seismic image; impermeable wall; instantaneous surface wave; nondestructive detection

近年来,为提高堤坝的抗洪能力,国家投入巨资对江河湖泊的堤坝进行整治,其中堤坝防渗墙的设置是其中的重要措施之一。防渗墙施工质量的好坏直接影响到堤坝整治的效果和人民生命财产的安全。因此,必须对堤坝防渗墙施工质量进行检测,需要找到一种简便、快捷的现场无损检测方法,快速地对堤坝防渗墙的整体施工质量做出评价。高密度震动映像无损检测技术具有检测速度快、简便、无损的特点,对于堤坝防渗墙中容易出现的诸如搅拌不均、防渗墙施工深度变化等现象可获得宏观的震动映像,其检测结果具有直观、形象等特点,然后可应用瞬态面波法^[1,2]对施工质量有问题的地段进行定性检测。高密度震动映像与瞬态面波相结合的检测方法具有简便、快速、整体检测的优点。

1 模型墙试验

在天津市郊区一段有代表性土层条件的地段,

按堤坝防渗墙的实际施工条件,并模拟施工中容易出现的质量问题,建造了 4 段防渗墙试验段。墙体搅拌深度 6 m,每段长 8 m。防渗墙试验段施工现场地质条件见表 1。防渗墙试验段采用 325 号普通硅酸盐水泥浆,灰土比为 16%。各试验段的施工情况如下:第一段为两搅一喷,模拟搅拌不匀施工情况;第二段为四搅两喷,中间停止喷浆,模拟施工沿墙深度存在软弱夹层的情况;第三段为四搅两喷,但水灰比为 2.5:1,模拟施工浆液水灰比过大的情况;第四段为四搅两喷,模拟标准施工情况。

2 高密度震动映像应用

高密度震动映像无损检测技术利用的是弹性波浅层反射波法检测原理^[3],主要利用反射波相位的时空特性来推断解释地层构造,非常适合检测堤坝

表 1 试验段天然土的性质

天然土类型	土层厚度/ m	土粒与水的 相对质量比	剪切波波速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	不同粒径含量/%		
				> 0.05 mm	0.05 ~ 0.005 mm	< 0.005 mm
粉 土	0.0 ~ 2.0	2.66	180	38.0	47.2	14.8
黏 土	2.0 ~ 3.0	2.68	160	19.0	47.3	33.7
粉质黏土	3.0 ~ 4.5	2.67	170	5.0	65.7	29.3
有机质黏土	4.5 ~ 6.0	2.71	140	0.0	65.5	34.4

防渗墙的施工质量.

采用 6.75 kg 的铁锤在防渗墙试验段上进行竖向激振,偏移距 8 m,选用 28 Hz 的传感器,采样间隔时间为 0.25 ms,记录时间长度为 128 ms,排列方式为单侧激发、单道接收,从第一段开始采用沿堤坝防渗墙轴线每次平移 1.0 m 的方法依次对第一段、第二段、第三段和第四段防渗墙进行检测,检测结果见图 1.图 1 中从左向右第一道为第一段响应信号,2 ~ 8 道为第一段与第二段共同响应信号,2 ~ 4 道以第一段为主,5 ~ 8 道以第二段为主;第 9 道是第二段响应信号;10 ~ 16 道是第二、第三段共同响应信号,10 ~ 12 道以第二段为主,14 ~ 16 道以第三段为主;17 道是第三段响应信号;18 ~ 23 道是第三、第四段共同响应信号,18 ~ 20 道以第三段为主,22 ~ 23 道以第四段为主.

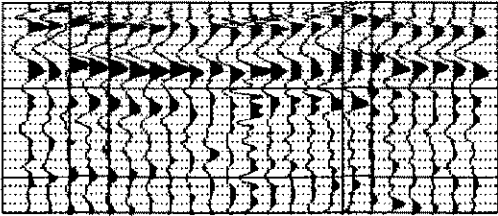


图 1 模型墙上震动映像实测结果

震动信号频率成分的衰减与所通过介质的动力学参数有关^[4,5],当通过低速度介质时,其对高频信号吸收较为充分.笔者对每道采集信号中反射纵波到达时间及信号的主频值进行了分析,结果如图 2 和图 3 所示.

从图 2 和图 3 中可以看出,第四段的反射纵波到达时间较早,且信号的主频值较高,说明这段防渗墙试验段的整体强度较高,而第一至第三段反射纵波到达较晚,且信号的主频值较低,说明这三段整体强度较小.

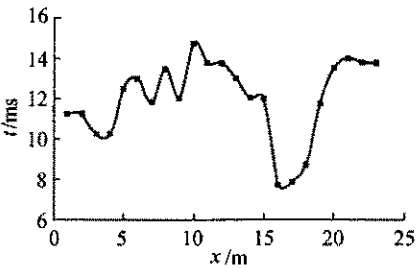


图 2 反射纵波到达时间沿水平方向变化曲线

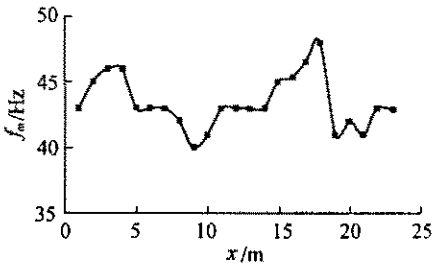


图 3 主频值沿水平方向变化曲线

对防渗墙进行了开挖,并对每段防渗墙进行原位剪切波测试,结果如表 3 所示.高密度震动映像的分析结果与防渗墙开挖测试结果基本吻合,证明了高密度震动映像技术在堤坝防渗墙整体施工质量检测中的有效性.

表 3 防渗墙现场开挖测试剪切波波速

土层	深度/m	剪切波波速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)			
		第一段	第二段	第三段	第四段
粉 土	0.5	669	884	837	850
	1.0	800	909	782	920
	1.5	730	954	750	924
	2.0	750	871	503	819
黏 土	2.5	490	500	467	490
	3.0	594	530	542	800
粉质黏土	3.5	689	773	670	839
	4.0	690	753	670	909

3 瞬态面波法的应用

高密度震动映像只能判断哪个地段施工质量有问题,但未能给出缺陷的性质,在此基础上可利用瞬态面波法^[3]对模型墙体进行检测,以便对墙体的施工质量作出定性评价.

3.1 施工均匀性评价

为了检测墙体中可能出现的软夹层或薄弱层等比较大的质量缺陷,首先评价墙体施工质量均匀性.为此,引入剪切波波速变异系数 R , R 定义为同层内水泥搅拌土剪切波波速的均方差与剪切波波速平均值的比值.由于波速变异系数反映了水泥搅拌土不同部位处剪切波波速的离散程度,因此也就反映了防渗墙质量的均匀性.根据现场试验段的测试结果可以获得典型施工情况下剪切波波速变异系数,见表 4.

据表 4 可以得出以下结论:第一段由于搅拌不均匀,波速变异系数明显大于其他 3 段,这与实际情况

表 4 开挖测试及反演分析得出的剪切波波速变异系数

土 类	结果来源	剪切波波速变异系数 R				
		第一段	第二段	第三段	第四段	平均值
粉 土	现场测试	17.2	4.1	6.3	5.0	9.4
	反演分析	6.7	3.6	2.4	2.8	5.6
黏 土	现场测试	6.8	4.1	5.2	4.0	4.7
	反演分析	6.9	1.4	2.7	0.3	4.6
粉质黏土	现场测试	10.2	2.9	6.7	2.9	10.8
	反演分析	7.2	60.9	5.7	1.0	23.7
有机质黏土	反演分析	0	43.2	3.3	5.8	19.5

相符.表 4 中给出的 4 个试验段的平均变异系数综合考虑了第一段搅拌不均和其他 3 段搅拌均匀的情况.考虑到安全的原因 现场开挖深度没有达到断浆层,所以直接测试结果无法给出断浆层剪切波波速的变异系数.从反演结果看,第二段断浆层的波速变异系数很大,所以该系数确实能够反映墙体施工质量的均匀性.进一步综合表 4 中所示的各种情况,把现场测试平均变异系数视为搅拌比较均匀的情况.于是,建议按表 5 给出的结果评价水泥搅拌土防渗墙施工搅拌的均匀性.

表 5 评价防渗墙搅拌均匀性的标准

土 类	搅拌很均匀	搅拌均匀	搅拌不均匀
粉 土	$R \leq 5$	$5 < R \leq 10$	$R > 10$
黏 土		$R \leq 5$	$R > 5$
粉质黏土		$R \leq 10$	$R > 10$
有机质黏土		$R \leq 6$	$R > 6$

3.2 局部质量缺陷评价

显然,从全面检测水泥土防渗墙施工质量的角度而言,只判断墙体质量的均匀性并不能满足工程要求.搅拌不均匀并不表示墙体存在明显局部缺陷,还必须按照墙体的最小剪切波波速评价墙内是否存在局部缺陷.

从表 3 的波速测试结果看,在正常土体(粉土和黏土)正常水泥含量的试验段内,反演出的剪切波波速一般都在 450 m/s 以上.对于 4.5~6.0 m 范围内含有淤泥或有机质的部分墙体内波速在 450 m/s 以下;在 4.0~5.0 m 之间的第二段墙体中,由于没有喷浆,墙体的剪切波波速接近甚至低于原状土的波速.导致这种现象是因为原状土在上层土的压应力下已经充分固结,密实度较大,由于施工搅拌使原本密实的原状土变得相对松散,从而降低了该处的剪切波度.因此,以墙体周围土体的剪切波波速作为基准,如果测得墙体中某部位的剪切波波速接近该处原状土的剪切波波速,则有理由认为此处没有喷浆或者喷浆很少.综上所述,得出评价墙体局部质量缺陷的几点规则:

a. 如果通过检测得出的墙体 90 d 的等效剪切波波速大于 450 m/s,则认为水泥搅拌土墙体施工质

量较好,不存在局部缺陷.

b. 如果墙体某部位 90 d 的等效剪切波波速小于 450 m/s,且又明显大于该处周围土层的剪切波波速,可认为该处由于含灰量较少存在局部缺陷.

c. 如果墙体某部位 90 d 的等效剪切波波速接近该处周围土层的剪切波波速,则可认为该部位由于没有喷浆或者喷浆极少而存在软夹层.

d. 如果反演波速出现较高的波速层,说明局部存在水泥浆集中现象.虽然该情况对工程质量无直接影响,但是会造成不必要的浪费,并且硬夹层或硬壳层的存在会造成瞬态瑞利面波法反演结果的误差较大,所以应该尽量避免.

4 结 论

a. 在高密度震动映像中,当同时满足反射纵波波至时间较小、主频值较高时,说明防渗墙施工质量较好;反之,则说明防渗墙施工质量较差.从而可以通过高密度震动映像技术快速地对堤坝防渗墙的整体施工质量做出初步判断.

b. 笔者通过模型墙试验研究,建立了瞬态面波法的墙体施工均匀性评价标准和局部缺陷评价标准.

c. 本文提出的高密度震动映像与瞬态面波相结合的无损检测技术可以对防渗墙体施工质量进行先整体、后局部的定性评价.

d. 应用高密度震动映像技术对墙体进行检测时,本文提供的测试方式及参数仅供参考,具体应用中应针对不同的墙体,以能接收到墙体有效信号为前提.应用本文技术进行墙体局部缺陷评价时,本文给出的剪切波波速 450 m/s 是针对模型墙提出的,可以作为参考,但还应根据墙体施工措施、土质、水灰比等参数确定剪切波波速的值.

参考文献:

[1] 王建华,蔡靖,孙建运.水泥搅拌土防渗墙中瑞利面波特性的研究[A].《第九届全国土动力学及基础工程学术会议论文集》编委会.第九届全国土动力学及基础工程学术会议论文集[C].北京:清华大学出版社,2003.1143—1146.

[2] 杨成林.瑞雷波勘探[M].北京:地质出版社,1993.13—17.

[3] 王振东.浅层地震勘探应用技术[M].北京:地震出版社,1988.25—30.

[4] Haskell N A. The dispersion of surface waves on multilateral media[J]. Bull seism soc Am,1953 43 :17—34.

[5] 吴世明.土介质中的波[M].北京:科学出版社,1999.45—46.

(收稿日期 2004-08-16 编辑:高建群)