

基于冲击弹性波和超声波的混凝土裂缝深度无损检测技术方法比较

刘平¹, 关春先², 罗技明³, 哈图⁴

(1. 山东省公路检测中心, 济宁 272007; 2. 辽宁水利职业学院, 沈阳 110122; 3. 四川升拓检测技术股份有限公司, 成都 610045; 4. 内蒙古自治区交通建设工程质量鉴定检测中心, 呼和浩特 010000)

摘要:钢筋混凝土结构是最重要的土木、建筑结构,在建设及使用过程中由于各种缘由会产生裂缝,裂缝参数中深度是判定裂缝对结构安全影响程度的重要指标,裂缝深度的测量作为工程质量检测难点亟待解决。测量裂缝深度的常规方法为超声波法,但检测受影响因素较多,检测精度稍差。采用基于冲击弹性波的检测方法对混凝土结构裂缝深度进行检测,冲击弹性波受水和填充物影响小,能检测的裂缝深度更大,经不断改进现已成为一种新的检测裂缝深度的方法。通过工程实例对基于冲击弹性波的检测方法的可靠性进行验证后可知,该方法测试效果显著,值得推广。

关键词:裂缝深度检测;钢筋混凝土;冲击弹性波;超声波

中图分类号:TB115

文献标志码:A

引言

土木、建筑工程中钢筋混凝土结构的破坏与裂缝的发展有关,裂缝是混凝土结构中最常见的一种缺陷,裂缝的存在会影响结构的抗渗性能^[1],导致水分及有害物质渗入,诱发钢筋锈蚀或加速混凝土的自然老化,从而损害工程结构的承载能力,对安全性产生影响。即使尚未直接影响到使用安全,也会影响适用性和耐久性。而裂缝的产生原因是设计、施工、材料、环境及管理相互影响的综合性问题^[2]。

在合理评价裂缝对混凝土结构安全性的影响工作中,需确定裂缝的状态、发展和成因,裂缝深度、长度、宽度等都是非常重要的指标,尤其裂缝深度是关键指标^[3],而在实际测试工作中,裂缝深度测试较之长度和

宽度测试也要困难得多,通常采用钻孔取样的方法加以直接测量^[4],但是,钻孔取样的方法不但费时费力、对结构也有一定的损害以外,对深裂缝由于取样困难往往难以测量,同时,对于裂缝的发展也难以监测,因此,采用合理的无损检测方法是非常必要的,目前常规的无损检测裂缝深度的方法为超声波法,该方法中波的频率高但能量较低、频谱响应性能差,一般只适用于浅裂缝的测试。

本文主要介绍基于冲击弹性波的测试方法,该方法已得到国家行业标准认可,是《水工混凝土结构缺陷检测技术规程》SL713-2015测试混凝土裂缝深度方法之一,规程中明确了该方法可测试形状规则、测试面大的混凝土内部深层裂缝,本文将冲击弹性波法与超声波法进行对比,通过实际工程应用可以得到基于冲击弹性波

收稿日期:2017-08-21

作者简介:刘平(1971-),男,山东济宁人,高级工程师,主要从事公路试验检测、工程监理方面的研究,(E-mail)2622156560@qq.com

的裂缝深度测试方法效果显著,值得推广^[5]。

1 超声波法测裂缝深度技术

超声波法是使用超声波探头测量超声脉冲波在混凝土中的传播速度(简称声速)、首波幅度(简称波幅)和接收信号主频率(简称主频)等声学参数,并根据这些参数及其相对变化,判定混凝土裂缝深度情况^[6]。

根据裂缝深度与被测构件厚度的关系以及可测试表面情况可分为三种方法,分别为单面平测法、双面斜测法、钻孔对测法,本文主要介绍单面平测法。

单面平测法:当构件的裂缝部位只有一个可测试表面,裂缝的估计深度不大于被测构件厚度的一半且不大于200 mm时,可采用单面平测法。要求在裂缝测位的两侧分别具有清洁、平整且无裂缝的可进行检测的混凝土表面,裂缝两侧的可测试表面宽度分别不小于估计缝深,通过检测跨缝的声时和混凝土声速,可计算测点处的裂缝深度(图1)。

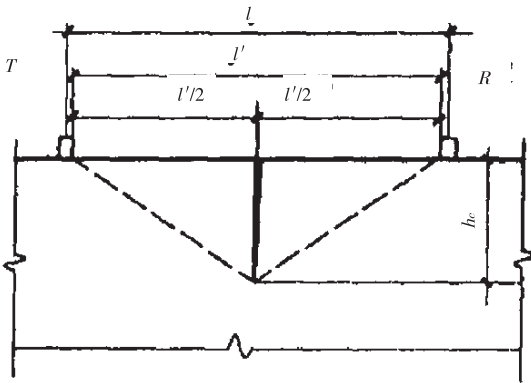


图1 超声平测法示意图

双面斜测法:双面斜测法需要有两个测试面主要用于检测深裂缝以及判定构件相对裂缝是否构成贯穿裂缝。

钻孔对测法:在裂缝两侧钻测试孔,在孔中用径向振动式换能器自上而下逐点检测,绘制深度—波幅图,波幅达到最大并基本稳定的位置对应裂缝深度。

2 冲击弹性波法测裂缝深度技术

冲击弹性波法主要采用锤击等方式激振产生信号,采用振动(如加速度)传感器接受信号。根据接收信号初始相位情况、传播时间以及衰减特性判断裂缝深

度^[7]。冲击弹性波法同样有三种测试方法。

2.1 相位反转法

当激发的弹性波信号在混凝土内传播,穿过裂缝时,在裂缝尖端处产生衍射,其衍射角与裂缝深度具有一定的几何关系。相位反转法正是基于该原理将激振点与接收点沿裂缝对称配置,从近到远逐步移动(图2)。当激振点与裂缝的距离与裂缝深度相近时,接收信号的初始相位会发生反转。

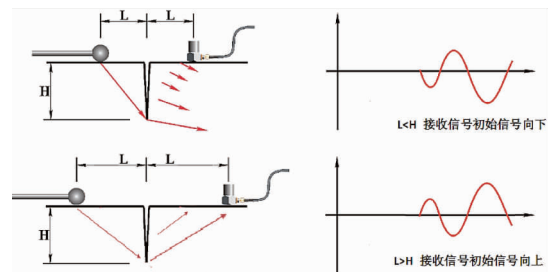


图2 相位反转法示意图

2.2 传播时间差法

激励产生的弹性波遇到裂缝时,波被直接隔断,并在裂缝端部衍射通过(图3)。通过测试波在有裂缝位置 and 没有裂缝健全部位传播的时间差推断裂缝深度。裂缝深度越大,传播时间差也越长。

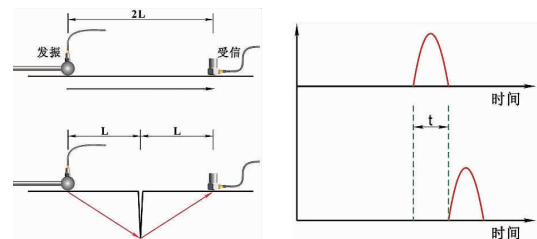


图3 传播时间差法示意图

2.3 面波法

使用冲击装置在结构表面激振产生表面波,当结构物厚度较大时,其中瑞利波为主要成分,瑞利波在完好混凝土中传播所发生的几何衰减和材料衰减通过系统修正,保持其振幅不变^[8]。但是,瑞利波在遇到裂缝时,其传播会被遮断,在通过裂缝以后波的能量和振幅会减少。因此,根据裂缝前后波的振幅的变化(振幅比)可以推算其深度^[9]。根据试验资料和理论分析结果,裂缝深度与波长以及缝前后的振幅比关系可以表示为:

$$H = -0.7429\lambda \ln(x) \quad (1)$$

其中, H 、 λ 和 x 分别为裂缝深度、表面波波长和裂缝后/

前的振幅比(需经几何衰减修正)^[10](图4)。

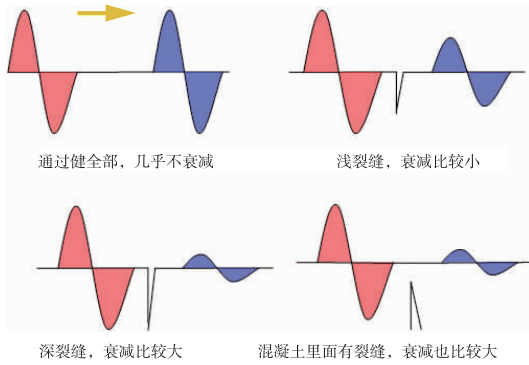


图4 面波法示意图

3 超声波法与冲击弹性波法对比

超声波是以波动形式在弹性介质中传播的机械振动,频率一般超过 20 kHz。检测常用的工作频率在 0.4 MHz ~ 5 MHz,超声测裂缝其频率较高,指向性好,波在介质中传播时,会发生衰减和散射,在存在阻抗差异的界面上将产生反射、折射和波型转换^[11]。

超声信号频率高但衰减很快,频谱响应性能差,对于一般浅缝开口裂缝比较适用,但对于深度较大且裂缝内有水、钢筋和其他杂质填充时,超声测试精度降低^[12]。

冲击弹性波属于机械波,频率为 20 Hz ~ 20 kHz,冲击弹性波法的测试信号频率相比超声波低,但其能量高、频谱响应性能好^[13],且冲击弹性波中表面波法可测试 2 m 以内深度的裂缝,测试深度大,受裂缝内水、钢筋或其他杂质填充影响小。

对于钢筋混凝土结构,其体积一般较大,裂缝也相对较深,而超声波法频率高,衰减快,适用于浅层开口裂缝,测试深度不大,相比冲击弹性波法,其测试深度大,受外界影响小,非常适用于钢筋混凝土结构^[14-15](表1)。

表1 测试方法对比表

测试方法	优点	缺点	适用范围
超声波法	频率高、指向性好	衰减快、受外界干扰大	浅层裂缝
冲击弹性波法	频率低、能量大、衰减慢、受外界干扰小	多条裂缝无法测试;测试不同深度裂缝需选择不同激振装置	浅层、深层裂缝

4 裂缝检测应用

4.1 长春某水电站坝段裂缝检测

吉林长春附近某水电站两处坝段裂缝深度测试,坝段混凝土厚度约 5 m,混凝土强度为 C30,一共 15 条裂缝,如图 5 所示。



图5 一处测试坝段现场

此次测试首先使用超声波方法进行测试,因只有一个测试面,所以选择单面平测法,在单条裂缝两侧进行布点测试(图6)。



图6 超声波法布点现场照片

超声波法测试结果:裂缝深度均在 0.2 m 以下。

针对坝段裂缝中有冰、杂质填充和析出物影响,且测试深度也较大,使用冲击弹性波中的表面波法进行测试,如图 7 所示,在距离裂缝两侧 $L_1 = 0.2$ m 布置两个传感器,分别在距离两传感器 $L_2 = 0.25$ m 位置使用冲击锤进行激振。

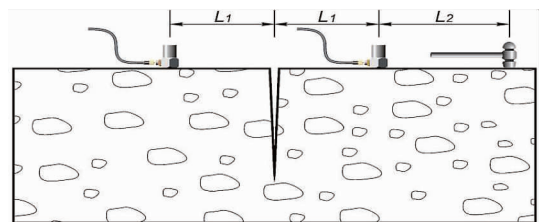


图7 表面波法测试示意图

冲击弹性波测试裂缝结果为大部分裂缝深度在 0.2 m 左右,深度较浅,部分裂缝深度超过 0.3 m,最大深

度达到0.46 m。

超声波法与冲击弹性波法测试裂缝深度结果见表2。

表2 超声波法与冲击弹性波法测试结果对比

坝段编号	裂缝编号	超声波法 测试深度 /m	弹性波法 测试深度 /m	偏差 /cm
11#	1	0.182	0.2511	-6.91
	2	0.173	0.1837	-1.07
	3-1	0.195	0.2057	-1.07
	3-2	0.168	0.1841	-1.61
	4	0.167	0.1751	-0.81
	5	0.178	0.1823	-0.43
15#	1-1	0.194	0.2856	-9.16
	1-2	0.203	0.4628	-25.98
	2-1	0.192	0.2715	-7.95
	2-2	0.199	0.2695	-7.05
	3-1	0.172	0.1872	-1.52
	3-2	0.177	0.1837	-0.67
	4-1	0.194	0.3446	-15.06
	4-2	0.205	0.3549	-14.99

为验证两种方法的测试结果准确性,分别取11#坝段的3-2号裂缝和15#坝段的4-2号裂缝进行取芯验证。

(1)11#坝段的3-2号裂缝实际深度为20.3 cm,超声波法以及冲击弹性波法测试结果相近且误差较小。

(2)15#坝段的4-2号裂缝实际深度为38.1 cm,超声波法测试误差较大,冲击弹性波测试误差较小。

由表2可知,在测试裂缝深度在0.2 m以内时,超声波法与冲击弹性波法两者测试结果偏差均较小,满足工程测试误差要求,而当裂缝深度超过0.2 m时,超声波法因受外界影响以及自身测试能力导致测试结果偏差较大,而冲击弹性波法能测的偏差较小,适用于混凝土内部的深层裂缝。

5 结论

(1)超声波法测试裂缝深度使用的测试信号频率较高,指向性好,但能量衰减较快,受水、钢筋以及填充物等影响较大,只适合测试裂缝深度较浅的开口裂缝,对与大体积混凝土中深度较深的裂缝测试精度不高,误差较大。

(2)针对深度较深的裂缝,使用冲击弹性波法非常合适,冲击弹性波法频率稍低但能量大,衰减慢,且受水、钢筋以及填充物等影响较小,测试效率及精度均较高。工程实际应用对比验证,证明冲击弹性波法用于大体积混凝土裂缝深度检测,实用可靠,值得推广。

参考文献:

- [1] 周伟强.基于冲击弹性波法的裂缝深度的检测研究[J].江西建材,2017(7):13-14.
- [2] 朱欣明.冲击弹性波法检测混凝土结构裂缝深度的研究[J].大科技,2016(11):308-309.
- [3] 孙其臣.冲击弹性波技术在水工混凝土结构无损检测中的应用研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2013.
- [4] 郭秀芹,杨森,张远军.弹性波CT技术在大体积混凝土结构无损检测中的应用[J].四川理工学院学报:自然科学版,2017,30(4):58-63.
- [5] 吴佳晔,吴曾炜,海野忠行.采用双方向发振技术减小弹性波动信号测试误差的技术[P].中国专利:200510021851.5,2011-05-11.
- [6] 宋福春,王彬.超声波法检测混凝土裂缝注胶质量[J].沈阳工业大学学报,2017,39(1):109-115.
- [7] 吴佳晔.土木工程检测与测试[M].北京:高等教育出版社,2015.
- [8] 朱威,张远军.冲击弹性波在衬砌脱空检测中的应用[J].四川理工学院学报:自然科学版,2017,30(3):62-66.
- [9] 吕小彬,吴佳晔.冲击弹性波理论与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [10] 刘锋.基于弹性波法的裂缝深度检测的试验研究[D].汕头:汕头大学,2009.
- [11] 刘兆勇,王羿磊.超声波检测裂缝在桥梁中的应用[J].中国西部科技,2013,12(1):17-18.
- [12] 夏敏.混凝土桥梁裂缝无损检测技术[J].城市建设理论研究,2015(22):265-267.
- [13] 刘恩才.基于冲击回波法无损检测技术的试验及

- 工程应用研究[D].湖南:中南林业科技大学,2012.
- [14] 魏来.利用 iTECS 技术检测混凝土结构弹性波速度及裂缝深度的研究[D].北京:北京交通大学, 2012.
- [15] 袁善杭,殷金栋,郑树寅,等.混凝土裂缝深度检测技术研究[J].建筑设计,2006,35(1):121-122.

Comparison of Non-destructive Testing Methods for Concrete Crack Depth Based on Impact Elastic Wave and Ultrasonic Wave

LIU Ping¹, GUAN Chunxian², LUO Jiming³, HA Tu⁴

(1. Shandong Highway Testing Center, Jining 272007, China; 2. Liaoning Water Conservancy Vocational College, Shenyang 110122, China; 3. Sichuan Central Inspection Technology Inc., Chengdu 610045, China; 4. Inner Mongolia Autonomous Region Traffic Construction Engineering Quality Appraisal and Testing Center, Hohhot 010000, China)

Abstract: Reinforced concrete structure is one of the most important civil architectural structures. Due to various reasons, there will be some cracks in the process of construction and use. The depth of crack parameters is the important index for determining influence on structure safety degree, so the depth of fissures of measurement is the engineering quality detection of difficulties to be solved. The conventional method to test the depth of fissures is ultrasonic method, but there are many factors affecting the detection, and the detection precision is a little poor. In this paper, the depth of the concrete structure crack is tested based on the impact of the elastic wave detection method. The impact elastic wave is less affected by water and filling, and the depth of the crack can be detected more deeply, so the elastic wave detection method has become a new method for detecting the depth of fissures through continuous improvement. Through the project example to validate the reliability of the testing method, the effect of detection method based on elastic wave impact is remarkable, and is worth promoting.

Key words: crack depth detection; reinforced concrete; IEW(Impact elastic wave); ultrasonic wave