

冲击回波法评价混凝土损伤程度的研究

张建纲, 水中和, 余小华

(武汉理工大学 硅酸盐材料工程教育部重点实验室, 武汉 430070)

摘要: 利用冲击回波方法对不同配比混凝土的损伤特性进行了试验研究。讨论了混凝土损伤程度与机械应力波传播特性的关系。研究表明, 冲击回波方法中应力波波速和频谱等参数能够很好地反映混凝土内部损伤发展的各个阶段。

关键词: 混凝土损伤; 冲击回波; 波速; 频谱

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)04-0229-03

Evaluation for Damage of Concrete by Impact Echo Method

ZHANG Jian-Gang, SHUI Zhong-He, YU Xiao-Hua

(Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The damage characteristics of concrete with different mixture were studied by impact echo method. The relationship between damage range and the stress wave parameters, such as stress wave speed, frequency spectrum, was discussed. The result showed that the development of damage could be reflected by the stress wave speed and the frequency spectrum of the impact echo.

Keywords: Damage of concrete; Impact echo; Stress wave speed; Frequency spectrum

混凝土在载荷和外界环境的作用下会出现不同程度的损伤。其中内部裂纹的产生与扩展使混凝土强度下降并最终导致混凝土的破坏^[1]。目前常用的质量检测的方法主要是钻芯取样法、回弹法以及超声波法等。

钻芯取样法会对混凝土构件造成一定的破坏; 回弹法主要局限于混凝土强度的快速检测; 超声检测法是一种有效的无损检测方法, 但是超声检测往往受到混凝土含水量、钢筋以及混凝土与传感器之间的耦合等多种因素的影响^[2]。冲击回波法是 20 世纪 80 年代兴起的一种混凝土无损检测技术。国内外学者相继研究了采用冲击回波法检测混凝土厚度和内部缺陷^[3], 目前其已经成为一种有效的混凝土无损检测方法。笔者通过研究单轴加载后混凝土对机械应力波的反射特性, 来探讨冲击回波方法对

混凝土内部损伤的检测。

1 试验原理

宏观的损伤理论把包含各种缺陷的材料体看成一种含有微损伤的“连续”介质, 将这些微缺陷的发展过程看作是损伤演变过程, 并把损伤作为微观结构的一部分引入连续介质模型, 有如下关系:

$$E = E_0(1 - D)^{[4]} \quad (1)$$

式中 E ——材料损伤状态的弹性模量;

E_0 ——材料无损状态的弹性模量;

D ——损伤因子。

冲击回波法是基于机械应力波在固体介质内传播的无损检测方法。在物体表面施加机械冲击, 在其内部激发瞬时应力波, 包括纵波(P波)、横波(S波)和表面波(R波)。纵波和横波被内部缺陷或外边界反射, 由放置在冲击点附近的换能器检测。因为冲击点以下纵波的幅度最大, 而横波的幅度较小, 所以回波主要为纵波。用快速傅里叶变换(FFT)将时域波形转化为频谱, 从而获得换能器接收到的纵波频率。纵波波速 C_P 、主频率 f 、试件厚

收稿日期: 2006-12-25

基金项目: 湖北省交通科技资助项目(HYYH-2006-06); 内蒙古交通科技资助项目(NJ-2005-21)

作者简介: 张建纲(1981—), 男, 硕士研究生, 主要从事混凝土无损检测技术的应用研究。

度 T 之间存在如下关系^[5,6]:

$$T = \frac{C_p}{2f} \quad (2)$$

$$C_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-\nu)(1-2\nu)}} \quad (3)$$

式中 ν ——材料泊松比;

ρ ——材料密度。

结合式(1)~(3)来看,对于冲击回波测试过程中的波速、频率及弹性模量的研究能够得出材料的损伤程度。

2 试样与试验过程

试验混凝土配比见表 1。试件按照 GB 50504—2002 制作为 150 mm×150 mm×150 mm 的立方体。其中 A,B,C 分别代表粉煤灰产量为 0%,15%和 30%,试件中水胶比均为 0.42。试件成型后在标准养护条件下养护 28 d。

表 1 混凝土材料用量

kg/m³

组别	水泥	粉煤灰	砂	石	减水剂
A	390	0	342	1 192	0.046 8
B	331.5	58.5	342	1 192	0.046 8
C	273	117	342	1 192	0.046 8

试验仪器为美国 Olson 公司研制的冲击回波扫描仪、意大利Milano生产的无机非金属材料试验机。

A,B,C 三组试件在 28 d 时测得的抗压强度分别为 46.7,44.1 和 41.9 MPa。将每组中的试块载荷 P_i 分别加载到该组混凝土破坏强度 P_m 的 20%,40%,60%和 80%。每个载荷等级按照相同的加载速率 (0.5 MPa/s)反复加载 10 次,最后一次结束后再保持该压力静压 2 min。经过这样处理后,混凝土试件内部发生了不同程度的损伤。卸载后采用冲击回波扫描仪测量该组试件对于机械应力波的响应。测试面垂直于加载方向。

测量结果通过 3 000~30 000 Hz 带通滤波,然后再加以分析,测试示意图见图 1。

3 试验结果与分析

图 2 为测得的频率响应结果。图 3 为测得的波速结果,纵坐标表示波速 C_i 与基准值 C_p 的比值(C_p 为 A 组中未损伤的试块所测得波速)。图 4 表

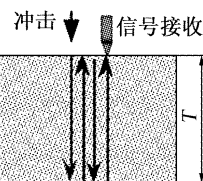


图 1 测试示意图

示在经历了不同载荷后所测得的频谱峰值强度 I 与经历载荷前的频谱峰值强度 I_0 比值的变化趋势。

图 2 可见,随着混凝土所经历载荷的增加,机械应力波在混凝土中的速度呈减小的趋势,当 $P_i/P_m < 40\%$ 时波速减小比较缓慢,当 $P_i/P_m > 60\%$ 时,波速的减小非常迅速。图 2 还可见三类混凝土的初始波速与混凝土的强度呈对应关系。但是在随着混凝

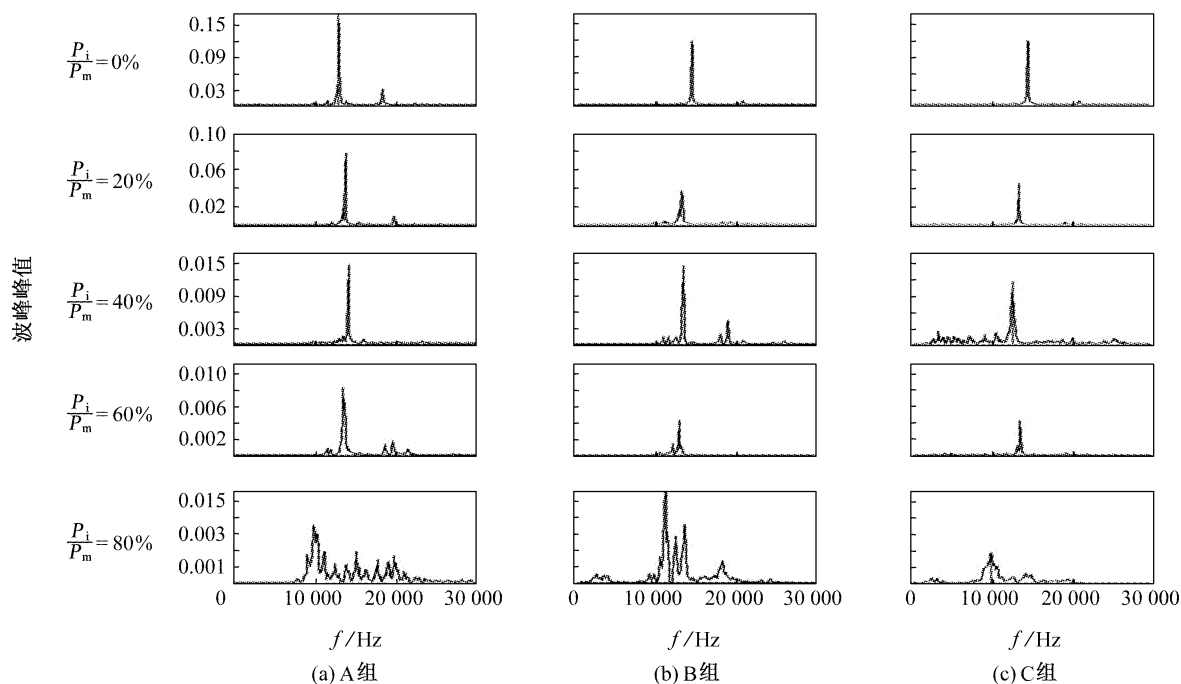


图 2 回波扫描仪测得的频率响应

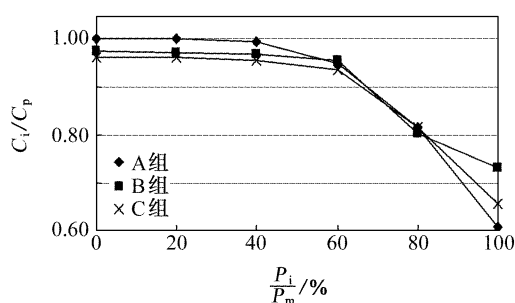


图3 波速变化曲线

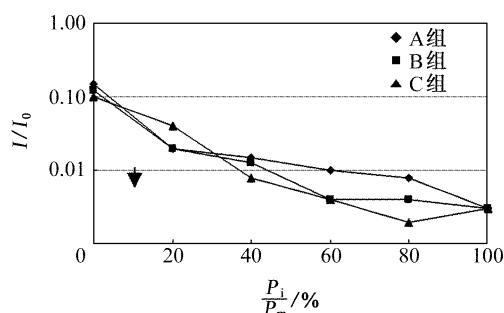


图4 频率-强度衰减曲线

土经历载荷的增加(即混凝土损伤程度的增加),这种对应关系逐渐不明显,到混凝土最终破坏时已经没有任何规律。图3中的冲击回波频率峰值强度与损伤程度呈对数递减关系,可见随着混凝土内部损伤程度的增加,波在混凝土内部的衰减越来越迅速,当混凝土完全破坏后,已经很难找到主频率的波。

当 $P_i/P_m < 30\%$ 时,混凝土处于弹性形变阶段,此时弹性模量损失很小,造成波幅衰减的主要因素是混凝土中骨料与水泥浆体的界面和孔隙等,因此与载荷为零时相比波速减小非常缓慢。当载荷增加到 $(30\% \sim 60\%)P_m$ 时,骨料水泥浆和孔隙等薄弱区微裂纹的数量和长度开始增加,混凝土的变形偏离弹性阶段,弹性模量开始减小,波幅的衰减逐渐加快,频谱响应的强度也随之降低。当 $P_i/P_m > 60\%$ 后,

裂缝在这一阶段开始形成并迅速扩展,在 $> 80\%$ 以后开始形成裂缝系统,混凝土内波的衰减速度也大大加快,同时在主频附近出现其它频率峰值(图2),表明其它反射面开始出现,反映出混凝土内部已经开始出现比较完整的大裂缝。可见冲击回波各参数的变化反映了混凝土内部损伤和劣化的过程。

4 结论

(1) 混凝土的损伤与其机械应力波的传播特性具有很好的相关性。表现为随着损伤程度的增加,应力波在混凝土中的传播速度呈降低的趋势;接收到的反射波的强度也随之降低。

(2) 机械应力波在混凝土中传播的过程比较复杂,进一步研究机械应力波在混凝土中的传播特性,有望实现该方法对于混凝土的强度和损伤程度的快速检测。

参考文献:

- [1] Jason D Stauffer, Clinton B Woodward. Nonlinear ultrasonic testing with resonant and pulse velocity parameter for early damage in concrete[J]. ACI Material Journal, 2005, 102(2): 118-121.
- [2] 李为杜. 混凝土无损检测技术[M]. 上海: 同济大学出版社, 1989: 78-80.
- [3] 苏航, 林维正. 冲击回波检测方法及其在土木工程中的应用[J]. 无损检测, 2003, 26(3): 81-83.
- [4] 蔡四维, 蔡敏. 混凝土的损伤断裂[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999: 100-102.
- [5] Nicholas J Carino, Mary Sansalone. Detection of voids in grouted ducts using the impact echo method[J]. ACI Material Journal, 1992, 89(3): 73-76.
- [6] 祝永年, 沈威, 译. 混凝土的结构、性能与材料[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997: 49-53.

(上接第228页)

缺陷定量分析的自动化、半自动化方法的研究。

(3) 图像文件的管理、传输(引入 PACS 模式)^[5]。

(4) 建立新的数字化射线检测标准。

参考文献:

- [1] Nedavnii O I, Udod V A. Digital radiographic systems today-state of the art(a review)[J]. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2001, 37(8): 576-591.

- [2] 曾祥照. X射线实时成像检测图像最佳放大倍数和最小检出缺陷[J]. CT理论与应用研究, 2002, (11): 13.
- [3] 孙朝明. 数字化射线检测图像中缺陷的分割与定量[C]. 重庆: 2006年西南地区第九界 NDT 学术年会暨 2006 全国射线检测新技术研讨会, 2006.
- [4] 孙朝明, 王增勇. 射线检测中的仿真技术发展[J]. 无损检测, 2006, 28(9): 475-478.
- [5] 张健, 池峰, 高新波, 等. 基于 DICOM 标准的大型医学影像分布式存储系统研究[J]. 计算机应用研究, 2004, (4): 85-87.