

一维冲击弹性波波速测试方法的研究

刘 华¹, 黄伯太²

(1. 河南交通投资集团有限公司, 郑州 450000; 2. 四川升拓检测技术有限责任公司, 成都 643000)

摘 要:利用冲击弹性波的冲击回波法、透过法对不同长度、直径为 25 mm 的钢筋弹性模量进行测试。发现了不同的方法对测试结果的影响,并得出不同测试方法在测试一维杆件的适用范围,对利用冲击弹性波测试结构物弹性模量提供了重要依据。

关键词:弹性模量;冲击回波法;透过法;压电效应

中图分类号:TB125

文献标识码:A

目前,在混凝土结构无损检测领域中,利用波速来对结构的强度、缺陷、弹性模量等进行评定的方法在整个混凝土无损检测领域中占有很大的比重。近年来,混凝土的弹性模量引起了日益广泛的重视,其在计算钢筋混凝土的变形、裂缝扩展和大体积混凝土的温度应力等方面是必不可少的指标。尤其是在预应力钢筋混凝土梁的张拉/放张施工时,由于混凝土的弹性模量的意义显得更为重要^[1-2]。

现场测试混凝土模量的最有效的方法是利用弹性波的传播速度。因此,准确的测试波速对评价混凝土结构、预应力混凝土的质量具有重要意义。然而,波速的测试精度受到很多因素的影响。在此,为了研究测试方法的准确性,利用一维杆件的钢筋作为研究对象。

本文利用冲击弹性波无损检测仪器的冲击回波法与透过法对直径为 25 mm,不同钢筋的弹性模量进行测试,发现两种方法的测试结果有较大差异,为了弄清具体原因,遂开展本次研究。

1 室内实验

1.1 仪器设备

本次测试采用的主要设备为四川升拓检测技术有限责任公司研发生产的混凝土多功能无损测试如图 1 所示。

实验设备的主要指标,A/D 采集基本参数见表 1,传感器(S31SC、S305M)主要参数见表 2,电荷放大器主要参数见表 3。



图 1 混凝土多功能无损检测仪

表 1 A/D 采集卡的基本参数

名 称	ADA16 - 32/2(CB)F
变换速度	2 μ s/Ch.
分辨率	16 bit

表 2 传感器主要参数

名 称	S31SC	S305M
感 度 (PC/M. S ⁻²)	3	0.3
共振频率 (KHz)	26	55
频率范围	fc ~ 4kHz + 1dB fc ~ 8kHz + 1dB	1 ~ 18000Hz

表 3 放大器主要参数

名称	SA611
最大输入	电荷 10000pC, 电压 \pm 10V
感度设定	3 位数字开关
感度切换	1、10、100 倍 3 个档位
感度设定范围	0.03 ~ 999pC/(m/s ²), mV/(m/s ²)
感度精度	\pm 1.5% 以内(但 200Hz 的负载电阻为 10k Ω 以上)

收稿日期:2012-02-18

作者简介:刘 华(1980-),男,河南辉县人,工程师,主要从事公路运输方面的研究,(E-mail) liuhua001andy@163.com

1.2 试样制备

为了测试不同的测试方法适合的测试范围,分别制备长度为 0.5 m、1.0 m、2.1 m、3.5 m、5.5 m,直径为 25 mm 的钢筋,并将端面打磨平整。

1.3 试验原理

采用冲击回波法与透过法对钢筋弹性模量进行测试。试验原理分别如下:

1.3.1 透过法

利用冲击锤在钢筋断面激振,通过测试 P 波在钢筋中的传播时间,结合钢筋的长度,反算出弹性波等在结构物中的传播速度,进而根据弹性波与弹性模量的关系推算出钢筋的模量。测试概要如图 2、图 3 所示。

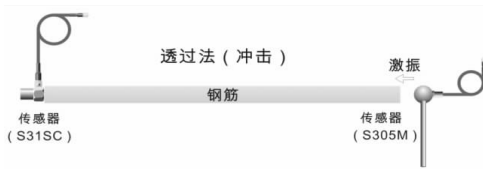


图 2 透过法测试钢筋模量(冲击)

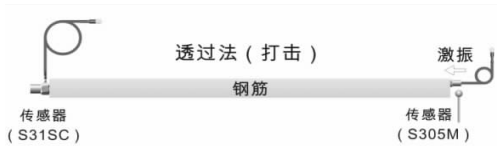


图 3 透过法测试钢筋模量(打击)

冲击:记录起始时间的传感器固定在激振锤上的激振方式。

打击:记录起始时间的传感器固定在钢筋断面的激振方式。

透过法测试钢筋的波速计算公式如下:

$$V_p = L/\Delta T \tag{1}$$

式中: V_p :弹性波经过钢筋的波速; L :钢筋长度(m); ΔT :弹性波在钢筋中的传播时间(s)。

1.3.2 冲击回波法

测试原理是利用打击锤在钢筋断面激振,用传感器在敲击点附近采集在结构物的底部反射信号,通过已知的钢筋长度,反算弹性波通过钢筋的波速,进而根据波速与弹性模量的关系推算出钢筋的弹性模量。测试的概要如图 4 所示。

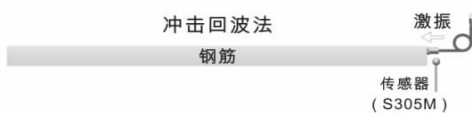


图 4 冲击回波法测试钢筋模量

冲击回波法测试钢筋的波速推算公式^[3]。

$$V_p = 2L/\Delta T = 2Lf \tag{2}$$

式中: L :钢筋长度(m); ΔT :弹性波在钢筋中的传播时间(s); f :经过 FFT、MEM 频谱分析的底部反射频率。

1.3.3 弹性模量计算

由于钢筋为杆状结构,因此为一维结构物,故有弹性模量 E_s 的推算如下^[2],

$$E_s = V_p \rho \tag{3}$$

式中: E_s 为钢筋的弹性模量; ρ 为钢材的密度, $7.85 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$; V_p 为弹性波波速。

1.4 验证试验

为了更清楚的掌握对测试结果的影响因素,在利用透过法测试时,采用了冲击和打击 2 种激振方式,同时也改变了传感器的固定方式。

2 试验结果与分析

分别利用冲击回波法与透过法对 5 根试样进行了测试,测试结果及相关分析如下。

2.1 冲击回波法测试结果与分析

冲击回波法测试结果(表 4)及分析如下。

表 4 冲击回波法测试钢筋弹性模量

钢筋长度 (m)	P 波波速 (km/s)	弹性模量 (GPa)	备注
0.5	5.130	206.6	
1.0	5.161	209.1	钢筋的密度:
2.1	5.145	207.8	
3.5	5.129	206.5	$7.85 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$
5.5	5.117	205.5	

根据表 4 的测试结果说明,冲击回波法能够较好测试 0.5 m 钢筋的模量,测试结果的稳定性较好。根据规范^[3]弹性模量范围为 200 ~ 210 GPa,测试结果与规范吻合较好。

2.2 透过法测试结果及分析

测试时,利用了冲击和打击 2 种方式对钢筋波速进行了测试。测试数据及结果见表 5、表 6 和图 5。

表 5 透过法(打击锤)测试结果

钢筋长度 (m)	P 波波速 (2V 以下)	弹性模量 (GPa)	P 波波速 (2V 以上)	弹性模量 (GPa)
0.5	4.711	174.2	4.716	174.6
1.0	5.076	202.2	5.170	209.8
2.1	5.092	203.6	5.196	211.9
3.5	5.114	205.3	5.133	206.8
5.5	5.106	204.6	5.120	205.8

表 6 透过法(冲击锤)测试结果

钢筋长度 (m)	P 波波速 (2V 以下)	弹性模量 (GPa)	P 波波速 (2V 以上)	弹性模量 (GPa)
0.5	4.638	168.9	4.753	177.3
1.0	4.921	190.1	4.990	195.5
2.1	4.777	179.1	4.891	187.8
3.5	5.039	199.3	5.031	198.7
5.5	5.034	198.9	5.079	202.5

根据表 5、表 6、图 5 的测试结果表明:

(1)在透过法测试中,利用冲击和打击的方式对试样进行测试,测试电压在 2 V 以上时,测试结果均比 2 V 以下的测试值偏大;但相差均很小,因此敲击力度对测试结果的影响很小;

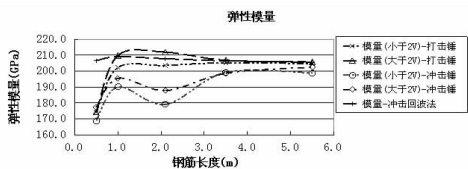


图5 钢筋弹性模量测试结果图

(2)从表5、表6、图5分析,冲击方式的测试结果均比打击方式的测试结果偏大,而且结果相差较大;

(3)利用透过法测试时,首波在信号较差(即波形上升缓慢)时,需要人工选取,因此在测试时,可以通过增大敲击力度使到达的首波快速上升就基本能够避免人为误差。

2.3 时间修正

根据冲击回波法及透过法的测试数据及结论,对冲击方式的透过法进行了如下的延迟修正。延迟修正如下。

$$T = L/V_{CJ} - L/V_{DJ} \tag{4}$$

其中: T :延迟修正时间(ms); L :钢筋长度(m); V_{CJ} :透过法测试时,冲击方式激振的P波波速; V_{DJ} :透过法测试时,打击方式激振的P波波速。

结合表5、表6的测试结果,推算出 T 为 0.02 ms。于是,我们考虑延时后,对冲击方式的透过法进行重新计算,计算结果见表7。

表7 透过法(冲击锤)修正结果

钢筋长度(m)	P波波速	弹性模量(GPa)	备注
0.5	4.801	180.9	
1.0	5.152	208.3	
2.1	5.132	206.7	
3.5	5.120	205.8	
5.5	5.156	208.7	

表7是对透过法(冲击)修正后的测试结果。从表8可以看出,通过修正钢筋的弹性模量与规范^[3]中的范围吻合较好。图6是修正后的曲线表示。

表8 钢筋弹性模量测试结果

钢筋长度(m)	冲击回波法	透过法(打击)	透过法(冲击修正)
0.5	206.6	174.4	180.9
1.0	209.1	206.0	208.3
2.1	207.8	207.8	206.7
3.5	206.5	206.1	205.8
5.5	205.5	205.2	208.7

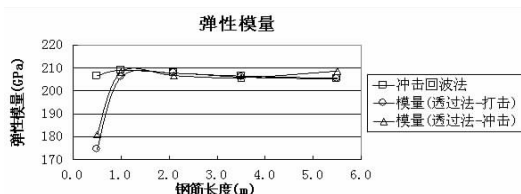


图6 钢筋弹性模量测试结果修正图

从图6可以明显看出,钢筋长度大于1m时,3种测试方法的结果吻合较好。

3 结论

根据本次的测试结果可以得到以下的测试结论:

(1)根据冲击回波法测试的弹性模量与规范^[3]吻合较好,说明冲击回波法能够很好的测试不同长度钢筋的弹性模量;

(2)在利用透过法对钢筋弹性模量进行测试的结果中看出,传感器的安装方式与传感器中的压电陶瓷的压电效应时间有较大关系。根据试验结果说明传感器固定在激振锤上时,传感器的压电反应时间比固定位置在钢筋上面时快,时间约为0.02ms;

(3)因此通过本次测试说明,在测试钢筋弹性模量时,长度小于1m时,宜选用冲击回波法测试;长度大于1m时,可以选用冲击回波法测试、打击方式的透过法进行测试;

(4)通过本次测试说明,钢材等一维金属材料动静弹性模量基本上是一致的。对于长度大于1m的一维结构,透过法与反射法测试结果一致。

参考文献:

[1] 吴佳晔,安雪辉,田北平.混凝土无损检测技术的现状和进展[J].四川理工学院学报:自然科学版,2009,22(4):4-7.
 [2] 杨成学,杨文礼,杨露.现场测试混凝土弹性模量的方法研究[J].四川理工学院学报:自然科学版,2010,23(05):504-507.
 [3] GB50010-2010,混凝土结构设计规范[S].
 [4] 吴新璇.混凝土无损检测技术手册[M].北京:人民交通出版社,2003.

Research of Measurement Speed Method Based on One-dimensional Impact Elastic Wave

LIU Hua¹, HUANG Bo-tai²

(1. Henan Transport Investment Group Company Limited, Zhengzhou 450000, China;
 2. Sichuan Central Inspection Technology Co., Ltd., Zigong 643000, China)

Abstract: A study is described that uses the impact-elastic-wave-based echo and refraction method to measure the elastic modulus of a 25mm-diameter steel rebar with varying lengths. Through laboratory testing, the effects of different testing methods on the modulus measurements were examined and the suitability of various methods for testing a one-dimensional member was assessed. The results from this study provided important evidences regarding the application of the impact-elastic-wave method in the measurement of elastic modulus of structures.

Key words: modulus of elasticity; impact elastic wave; penetration method; piezoelectric effect