

# Study on Ultrasound Velocity Characteristics of Fiber/Cement Modified Slurry

Yue Wang<sup>1</sup>, Huaqiang Tao<sup>2</sup>, Jian Qian<sup>1</sup>, Weiqing Zhang<sup>1</sup>, Ping Jiang<sup>1\*</sup>, Na Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Civil Engineering, Shaoxing University, Shaoxing Zhejiang

<sup>2</sup>Zhejiang Shuanghe Environment Construction Co. Ltd., Shaoxing Zhejiang

Email: \*249658344@qq.com

Received: Sep. 8<sup>th</sup>, 2019; accepted: Sep. 20<sup>th</sup>, 2019; published: Sep. 27<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

Unconstrained compressive strength is an important mechanical index of fiber/cement modified slurry, but the current testing technology needs to destroy the samples. In view of the improvement of the traditional test method of compressive strength of fiber/cement modified slurry, the ultrasonic method is proposed to test the compressive strength of modified slurry, and the variation characteristics of wave velocity of modified slurry caused by the change of dosage are studied. The results show that: 1) Without fiber, the wave velocity increases with the increase of cement content; 2) When the cement content remains unchanged, the wave velocity decreases with the increase of fiber content, and there is a good correlation between ultrasonic velocity and compressive strength; 3) The change of cement output has the greatest impact on the compressive strength of fiber/cement modified slurry, and the cement content increases from 20% to 25%. At the same time, the increase of strength is the largest, and the compressive strength increases by 44%.

## Keywords

Modified Slurry, Unconfined Compressive, Compressive Strength, Ultrasonic Velocity

# 纤维/水泥改性泥浆超声波速特性研究

王月<sup>1</sup>, 陶华强<sup>2</sup>, 钱健<sup>1</sup>, 张伟清<sup>1</sup>, 姜屏<sup>1\*</sup>, 李娜<sup>1</sup>

<sup>1</sup>绍兴文理学院土木工程学院, 浙江 绍兴

<sup>2</sup>浙江双和环境建设有限公司, 浙江 绍兴

Email: \*249658344@qq.com

收稿日期: 2019年9月8日; 录用日期: 2019年9月20日; 发布日期: 2019年9月27日

\*通讯作者。

## 摘要

无侧限抗压强度是纤维/水泥改性泥浆的重要力学指标,而目前的检测技术都需要对试样进行破坏,因此针对纤维/水泥改性泥浆的抗压强度传统测试方法进行改进,提出采用超声波法对改性泥浆的抗压强度进行测试,对掺量的改变引起的改性泥浆波速的变化特性进行研究。试验结果表明:1)在不掺纤维的情况下,波速随着水泥掺量的增加而增大;2)水泥掺量不变的情况下,波速随着纤维掺量的增加而呈现下降的趋势,不同材料改性泥浆的超声波速与抗压强度之间具有良好的相关性;3)水泥产量的改变对纤维/水泥改性泥浆的抗压强度影响最大,水泥掺量在由20%增加为25%时,强度增幅最大,抗压强度大小增加了44%。

## 关键词

改性泥浆, 无侧限抗压, 抗压强度, 超声波速

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来,国家对于建筑废弃垃圾的绿色循环愈加重视,而泥浆作为工程中的一种重要辅料,在很多工程施工工艺中都具有不可替代的作用。在如钻孔灌注桩、地下连续墙、盾构掘进施工作业时,泥浆经过多次循环使用,必然会产生大量的废弃泥浆[1] [2]。目前企业通用的做法是将废弃泥浆在施工现场指定位置存放,再经由槽罐车将其运至指定地点进行风干作为填土使用[3] [4] [5]。但这种处理方法存在下列问题:1)现场储存占用空间较大,影响施工进度,提高施工成本。2)槽罐车运送中,容易发生漏撒,对市容市貌产生不良影响。国内外已有大量学者对于废弃泥浆的二次循环使用进行研究,但研究热点主要集中在废弃泥浆脱水填埋领域,对改性泥浆的力学性质与应用范围研究仍是新兴阶段。Gao 和 Lei 等人的研究表明聚丙烯纤维能够增强水泥土的无侧限抗压强度,因此本文中采用纤维与水泥对泥浆强度进行改性增强[6] [7]。

目前,改性泥浆强度的检测手段依旧是以试样破损检测为主,而与破损检测相比。超声波检测具有非破坏性、随机性、可连续重复测试及原位检测等优点[8]。且超声波测试仪器的开发与测试方法的完善,将为我们研究土体性质提供良好的平台,并将成为工程领域内最具发展前景的探测技术之一。Hong, Nik 和 Demirboa 等通过超声波速对混凝土的抗压强度进行估算,经过分析得出超声波速与抗压强度具有很高的相关性[9] [10] [11]。

改性泥浆强度检测方式的增加,会对其在实际工程中的使用与推广提供便利。因此对纤维/水泥改性泥浆的超声波速进行研究,对纤维/水泥改性泥浆强度改变所引起的超声波速变化进行分析探讨。

## 2. 测试设备及原理

无侧限抗压强度检测具有破坏性、非随机性、不可连续重复测试及不可原位检测等缺陷。在现场实际工程使用中,无侧限抗压强度检测的这些缺陷使得其测试效率较为低下,测试结果不可重复检测,且测试过程较为复杂。而超声波检测是指在原材料、配合比、龄期等技术条件相同的情况下,根据脉冲波

在试件中传播的声时、幅度等的变化,对试件的强度变化进行判定,在现场实际工程使用中具有很大的优势。

声波测试设备采用北京康科瑞工程检测公司研发的 NM-4B 非金属超声波检测分析仪,该超声波检测分析仪由主机,主机信号线与平面换能器组成。平面换能器频率为 50 KHz,声时分辨率为 0.05  $\mu$ S,测时范围为 0.05  $\mu$ S~419430.4  $\mu$ S,采样频率范围为 0.16 MHz~10 MHz,发射电压为 60 V~1000 V,通道测量结果误差仅为 0.04%。在测试过程中声波仪器各项参数(如连接通道与发射电压)都设置一致,以使测试结果具有可比性。且本声波测试仪与其他测试仪相比的穿透距离较大,接收灵敏度较高,无需对试样进行切片等处理,对试样的扰动较小,不会干扰后续的无侧限抗压试验。

超声波速可按照式(1)和式(2)进行计算:

$$v = l/t \quad (1)$$

$$t = (t_1 + t_2 + t_3)/3 \quad (2)$$

式中:  $v$  为测试区速度值, m/s;

$l$  为超声波测距, mm;

$t$  为测区平均声时,  $\mu$ S;

$t_n$  为测区第  $n$  次测试实际声时,  $\mu$ S。

在每次超声波测试时,需消除声时测试值中的仪器及发、收换能器系统的声延时,因此每次测试开始前以及更换测试导线与换能器后都应进行调零操作,本平面测试换能器,需将与仪器连接好的换能器直接耦合,读取此时的声时值,计算零声时并将其输入到零声时参数框内,具体计算方法见式(3):

$$t_0 = t'_0 + t - t' \quad (3)$$

式中:  $t_0$  为矫正过后的零声时;  $t'_0$  为原来的零声时;  $t$  为测试所得的声时值;

$t'$  为标准棒的标准声时,若直接耦合则为 0。

### 3. 试验方案

为保证试验所得无侧限抗压强度与超声波声时具有直接对比性,超声波测试所用试样与无侧限抗压强度试样一致,所有试样在进行超声波试验完成后再进行无侧限抗压强度试验。试验中对不同配比中的每个试样进行编号,根据编号对其先进行超声波测试,为使平面换能器与试样充分接触需在平面换能器上预先均匀涂抹凡士林,并利用前文方法测出零声时,将仪器中的数值进行修改。修改完毕后,将主机、平面换能器与试样见图 1 位置放置在桌面上,并开始测试。

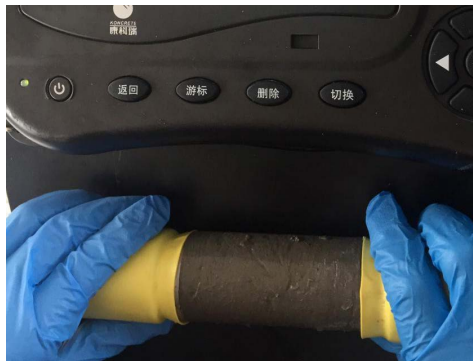


Figure 1. Layout diagram of ultrasonic test sample  
图 1. 超声波测试试样放置图

#### 4. 超声波测试典型波形

测试时,因试样与换能器所接触的两面存在不光滑、不能完全接触的可能,进而影响超声波的测试,因此在测试时,需了解纤维/水泥改性泥浆的典型波形,见图2所示。若测试时波形与典型波形不一致,经过调整排除换能器与试样接触不良的影响后,若波形与典型波形不一致,则试样本身结构存在重大缺陷的可能,可将此试样在试验中去除。每个试样分别测试5次声时,计算时去掉最大与最小值,并将平均值作为使用的数据。

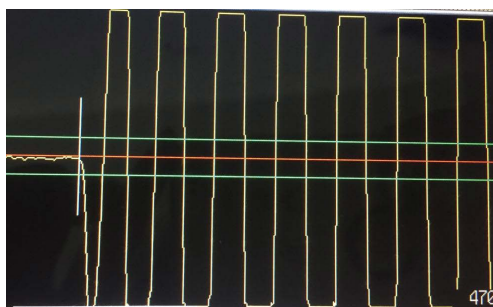


Figure 2. Typical waveform of ultrasonic test  
图2. 超声波测试典型波形图

#### 5. 超声波速特性分析

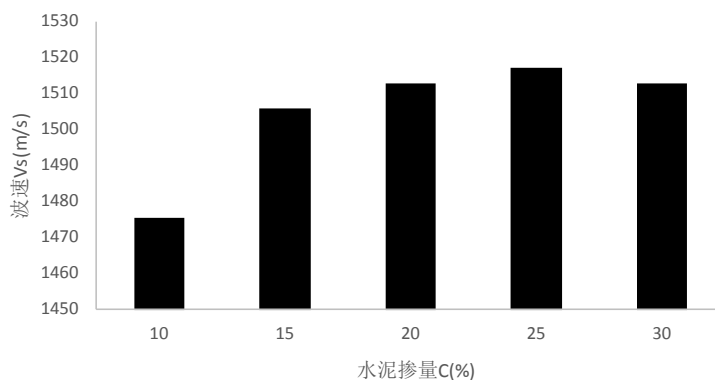


Figure 3. Change of wave speed of cement modified mud  
图3. 水泥改性泥浆波速变化图

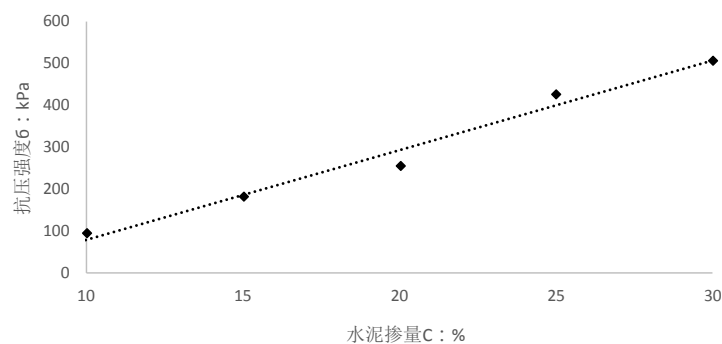


Figure 4. Change of compressive strength of cement modified mud  
图4. 水泥改性泥浆抗压强度变化图

图3为7d养护龄期且不掺纤维情况下,水泥掺量的变化引起波速变化图,根据波速变化图可以看出,超声波速随着水泥掺量的增加整体呈现上升的趋势。图4为不掺纤维情况下,水泥改性泥浆的抗压强度随水泥掺量变化图,由图中可以得出,随着水泥掺量的增加,水泥改性泥浆的无侧限抗压强度也会增加。将图3与图4进行对比分析可以得出,在不掺纤维的情况下,随着抗压强度的增加,对应的超声波速也会增加。根据超声波速传播原理进行分析,水泥掺量的增加使得试样内部结构更为紧密,更加有利于超声波速的传播,因此水泥掺量变大,其对应的超声波速也同样增加。

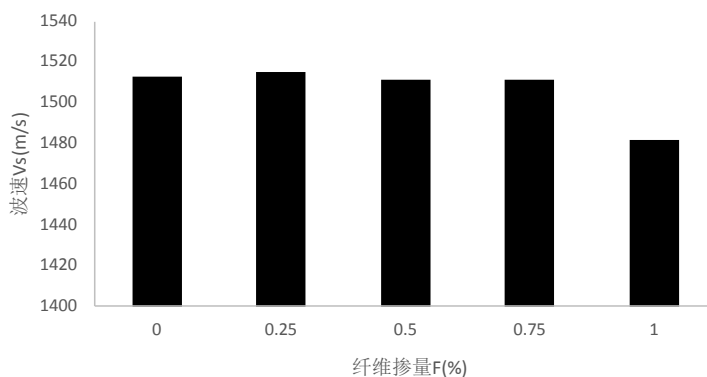


Figure 5. Wave/speed change of fiber/cement modified mud

图5. 纤维/水泥改性泥浆波速变化图

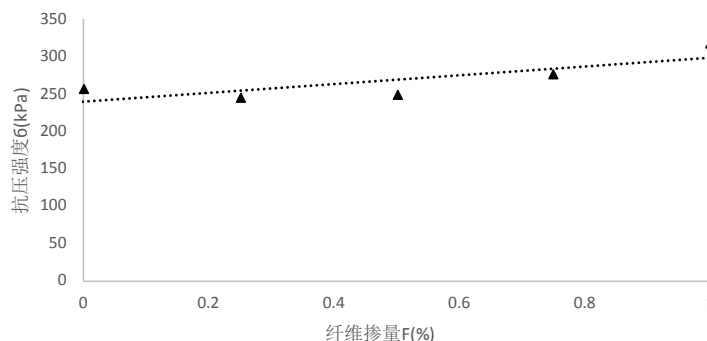


Figure 6. Change in compressive strength of fiber/cement modified mud

图6. 纤维/水泥改性泥浆抗压强度变化图

图5为7d养护龄期且水泥掺量为20%情况下,纤维掺量的变化引起纤维/水泥改性泥浆的波速变化图,根据波速变化图可以得出,随着纤维掺量的增加,其超声波速整体呈现下降的趋势。

图6为相同条件与配比下的纤维/水泥改性泥浆的无侧限抗压强度变化图,可以看出在水泥掺量不变的情况下,随着纤维掺量的增加,纤维/水泥改性泥浆的抗压强度同样也会变大。与图5超声波速变化图同时对比发现,超声波速随着强度的增加而降低,且强度增加越大,其超声波速下降越多。本文认为纤维的增加使得纤维/水泥改性泥浆内部结构变的更为复杂,且本文中使用的纤维为聚丙烯纤维,虽然其分散性较佳,不易抱团,但因试验主材料为高含水率泥浆,具有较大的黏性,在加入纤维后容易使得纤维部分抱团,且后期搅拌对抱团纤维的分离效果不佳。因此使得试样中的纤维分布不均匀,最终导致声波传输受阻并使得波速出现微小的下降。这与文献[12]中分析单轴受压下混杂纤维延性材料的超声波速特征中提到的未掺纤维基材中的超声波速均略高于掺纤维的复合材料,掺加纤维在基材中引入部分缺陷,影响超声波在材料内部的传播结果基本一致。

从图 4 和图 6 对比分析可以看出, 虽然纤维掺量的增加会使得改性泥浆的抗压强度变大, 但相比纤维掺量的变化, 水泥掺量的变化对改性泥浆的无侧限抗压强度影响更大, 其中水泥掺量在由 20% 增加为 25% 时, 强度增幅最大, 抗压强度大小增加了 44%。

## 6. 总结

本研究可以得到如下结论:

1) 7 d 养护龄期内的水泥改性泥浆抗压强度随着水泥掺量的提高而增大, 其中水泥掺量在由 20% 增加为 25% 时, 强度增幅最大, 改性泥浆的强度增加了 132 kPa。但随着水泥掺量的增加, 改性泥浆的强度增量开始下降, 此时再继续增加水泥是不经济的。

2) 聚丙烯纤维的加入, 会对相同养护龄期内改性泥浆的无侧限抗压强度产生影响, 并随着纤维掺量的增加, 改性泥浆的抗压强度呈现增加的趋势。且在水泥掺量不变的情况下, 纤维掺量由 0.75% 增加为 1% 时, 纤维/水泥改性泥浆的无侧限抗压强度增幅最大, 其强度增加了 55 kPa。在水泥含量一定的情况下, 纤维的加入对于改性泥浆强度的提升具有显著效果。

3) 纤维/水泥改性泥浆的超声波速变化主要受限于水泥掺量的变化, 随着水泥掺量的增加, 水化产物增多, 改性泥浆的孔隙减小, 并且密实度增大, 试样内部结构更为紧密, 更加有利于超声波速的传播, 因此水泥掺量变大, 其对应的超声波速也同样增加。在合理配比下的聚丙烯纤维的加入对其波速变化影响相对较小。

4) 纤维/水泥改性泥浆随着纤维掺量的增加, 其超声波速整体呈现下降的趋势, 与强度变化规律同时对比发现, 超声波速随着强度的增加而降低, 且强度增加越大, 其超声波速下降越多。

5) 不同材料改性泥浆的波速与强度均具有良好相关性, 利用超声波法推定不同配比纤维/水泥改性泥浆的强度是可行的, 后续对纤维/水泥改性泥浆强度与超声波速之间的本构关系的研究具有一定可行性。

## 基金项目

住房和城乡建设部科技项目(2016-K5-008), 岩土力学与工程国家重点实验室开放研究课题(Z017013), 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室开放基金, 浙江省住房和城乡建设厅科研项目(2017K179, 2016K130), 绍兴文理学院校级科研项目(2017LG1005)。

## 参考文献

- [1] Wu, Y., Zhou, Z., Wang, D., Lu, Y., Wang, J. and Lin, F. (2017) Experimental study of Ningbo Waste Slurry Treatment by Vacuum Preloading with Flocculants. *Journal of Dalian University of Technology*, **57**, 157-163.
- [2] Grohs, H. (2007) Cost-Efficient Regeneration of Bore Slurry for Driving of Weser Tunnel. *Tunnel Construction*, **27**, 47-51.
- [3] 房凯, 张忠苗, 刘兴旺, 等. 工程废弃泥浆污染及其防治措施研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(10): 238-241.
- [4] Wang, R. and Zhang, Y.X. (2018) Recycling Fresh Concrete Waste: A Review. *Structural Concrete*, **19**, 1939-1955. <https://doi.org/10.1002/suco.201800057>
- [5] 唐朝生, 顾凯. 聚丙烯纤维和水泥加固软土的强度特性[J]. 土木工程学报, 2011(S2): 5-8.
- [6] Tang, Q., Shi, P., Zhang, Y., Liu, W. and Chen, L. (2019) Strength and Deformation Properties of Fiber and Cement Reinforced Heavy Metal-Contaminated Synthetic Soils. *Advances in Materials Science and Engineering*, **2019**, Article ID: 5746315. <https://doi.org/10.1155/2019/5746315>
- [7] Gao, L., Hu, G. Xu, N., Fu, J., et al. (2015) Experimental Study on Unconfined Compressive Strength of Basalt Fiber Reinforced Clay Soil. *Advances in Materials Science and Engineering*, **2015**, Article ID: 561293. <https://doi.org/10.1155/2015/561293>
- [8] 缪群, 李增选. 高强混凝土的超声特性及检测标准问题探讨[J]. 混凝土, 2000(11): 39-41.
- [9] Su, H. and Kim, S.H. (2015) Estimation of Compressive Strength of Concrete Structures Using the Ultrasonic Pulse

Velocity Method and Spectral analysis of Surface Wave Method. *Materials Research Innovations*, **19**, S5-1289-S5-1294. <https://doi.org/10.1179/1432891714Z.0000000001296>

- [10] Sadeghi Nik, A. and Lotfi Omran O. (2013) Estimation of Compressive Strength of Self-Compacted Concrete with Fibers Consisting Nano-SiO<sub>2</sub> Using Ultrasonic Pulse Velocity. *Construction and Building Materials*, **44**, 654-662. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.082>
- [11] Demirboğa, R. (2004) Relationship between Ultrasonic Velocity and Compressive Strength for High-Volume Mineral-Admixed Concrete. *Cement and Concrete Research*, **34**, 2329-2336. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.017>
- [12] 王振波. 混杂纤维延性水泥基材料单轴受压力学特性[J]. 建筑材料学报, 2018, 21(4): 115-120.