

FRP筋外观形态对黏结性能影响研究

曾卫辉¹, 张黎飞², 邓杰¹, 李明¹

(1. 深圳海川新材料科技股份有限公司, 广东 深圳 518042; 2. 保利长大工程有限公司, 广东 广州 510640)

摘要: FRP筋和混凝土之间良好的协同工作性能, 是发挥其各自材料优势的前提, 黏结滑移性能是表征筋材和混凝土共同工作性能的重要体现, 若二者之间发生黏结退化或失效, 可能导致构件的变形过大。对FRP筋增强混凝土的黏结滑移性能进行试验研究, 分析筋材螺旋间距、螺旋深度和筋材表面处理形式3个参数对黏结滑移性能的影响。为FRP筋材增强混凝土构件提供技术参考依据。

关键词: FRP筋; 黏结滑移; 螺旋间距; 螺旋深度

中图分类号: TU599

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)08-0328-04

Research on Influence of FRP Reinforcement Appearance on Adhesive Strength

ZENG Weihui¹, ZHANG Lifei², DENG jie¹, LI Ming¹

(1. Shenzhen Haichuan New Materials Technology Co., Ltd., Shenzhen 518042, China; 2. Poly Changda Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510640, China)

Abstract: The good synergistic performance between FRP reinforcement and concrete is a prerequisite for giving full play to the advantages of the respective materials. The bond slip performance is an important manifestation of the joint working performance of reinforcement and concrete. If there is bond degradation or failure between the two, it may lead to excessive deformation of the component. Experimental research is conducted on the bond slip performance of FRP reinforced concrete to analyze the effects of three parameters such as spiral spacing, spiral depth, and surface treatment form of the reinforcement on the bond slip performance, which provides the technical basis for FRP reinforcement of concrete components.

Keywords: FRP reinforcement; adhesive slip; thread spacing; thread depth

0 引言

钢筋的锈蚀会促使混凝土裂缝的发展, 对结构的正常使用造成影响(见图1), 从而减少结构的使用寿命。纤维增强复合材料(fiber reinforced polymer, FRP)是由纤维增强体(如玻璃纤维、碳纤维、玄武岩纤维、芳纶纤维等)和基体材料(如环氧树脂、乙烯基酯、聚酯等)经过一系列工艺复合而成的材料。这种材料在航空、航天、化工和医学等领域已经得到广泛应用, 然而在土木工程领域应用并不多。近20 a来, FRP以其轻质、高强、耐腐蚀等优点而被越来越多地应用到结构加固和新建结构中。FRP筋可代替钢筋以增强混凝土, 从而有效解决钢筋的锈蚀问题, 在建

筑工程、水利工程、隧道工程和海洋工程等领域应用前景广阔。

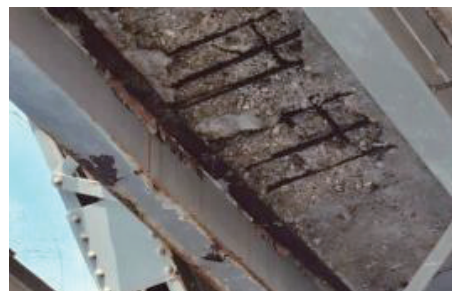


图1 钢筋锈蚀导致结构功能退化

FRP筋和混凝土之间良好的协同工作性能是发挥各自材料优势的前提, 黏结滑移性能是表征筋材和混凝土共同工作性能的重要体现, 若二者之间发生黏结退化或失效, 可能导致构件的变形过大。目前关于FRP筋增强混凝土黏结滑移性能的研究尚不深入, 因此, 需要对FRP筋增强混凝土的黏结滑移性能进行试验研究。

收稿日期: 2024-07-08

基金项目: 广东省省级科技项目(2021A0505110016)

作者简介: 曾卫辉(1994—), 男, 硕士, 从事新材料应用研究工作。

现有对 FRP 筋和混凝土的黏结性能研究多从黏结滑移本构模型^[1]和不同混凝土的材料^[2-7]方面进行分析,而对影响黏结性能的其他因素^[8]研究较少,本文从 FRP 筋表面形态出发,对其影响黏结性能进行系统性研究。

1 试验方案

黏结滑移试验设计 6 组工况,每组工况包括 3 个试件,总计 18 个。黏结滑移试件编号及研究参数详如表 1 所列。试件编号 L-25-10-0.8 中的 L 代表 FRP 筋表面螺旋缠绕,25 代表筋材直径为 25 mm,10 代表螺纹间距为 10 mm,0.8 代表螺纹深度为 0.8 mm,此外,S 代表 FRP 筋表面喷砂,E 代表 FRP 筋二次附胶。试件锚固长度为 5*d*。试验采用混凝土强度为 C30,实测强度为 32 MPa。试验过程中对筋材处理、对箍筋的处理及试件入模照片分别如图 1 至图 3 所示。

表 1 FRP-混凝土黏结滑移试件设置

试件编号	筋材直径/ mm	螺纹间距/ mm	螺纹深度/ mm	表面喷砂
L-25-10-0.8	25	10	<0.8	×
L-25-10-1.0	25	10	1.0	×
L-25-13-1.0	25	13	1.0	×
S-25-10-1.0	25	10	1.0	√
E-25-10-1.0	25	10	1.0	二次附胶
L-25-10-1.2	25	10	>1.2	×



图 2 筋材处理



图 3 箍筋处理

2 试验装置及加载方案

本次试验使用由万测试验设备有限公司生产的微机控制电液伺服万能测试机,最大荷载为 1 000 kN,



图 4 试件入模

外置 TDS 数据采集仪。试验采用位移控制方式加载,加载速率设为 2.4 mm/min。FRP 筋材与混凝土之间的滑移量采集通过安装 2 个位移计(LVDT)进行测试。试验通过换算荷载最大值得到试件的黏结强度,对应的 FRP 筋材滑移量即为破坏滑移量。试验加载装置示意如图 5 所示。

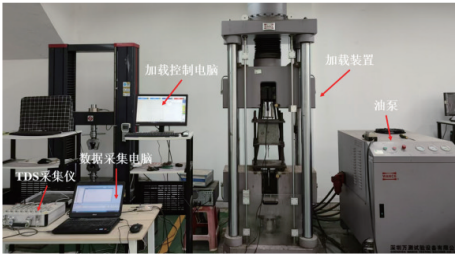


图 5 试验装置及数据采集系统

3 试验结果

3.1 试验测试数据

统计得到黏结强度 and 对应破坏滑移量如表 2 所列。

表 2 黏结滑移试验结果统计

试件编号	黏结强度/ MPa	黏结强度 均值/MPa	破坏滑 移量/mm	破坏滑移量 均值/mm
L-25-10-0.8-1	17.77	17.14	2.34	1.93
L-25-10-0.8-2	18.25		2.00	
L-25-10-0.8-3	15.39		1.44	
L-25-10-1.0-1	20.74	19.8	2.04	1.88
L-25-10-1.0-2	19.61		1.71	
L-25-10-1.0-3	19.05		1.73	
L-25-13-1.0-1	18.20	17.78	2.10	1.96
L-25-13-1.0-2	17.35		1.82	
L-25-13-1.0-3	11.43		1.16	
S-25-10-1.0-1	18.75	18.20	4.37	3.84
S-25-10-1.0-2	17.64		3.23	
S-25-10-1.0-3	18.21		3.93	
E-25-10-1.0-1	17.74	17.04	1.91	1.80
E-25-10-1.0-2	18.29		2.24	
E-25-10-1.0-3	15.08		1.25	
L-25-10-1.2-1	16.32	17.02	1.63	1.82
L-25-10-1.2-2	18.92		2.30	
L-25-10-1.2-3	15.82		1.54	

3.2 黏结滑移曲线

黏结滑移曲线通常用来表征和分析筋材和混凝土

土的黏结性能,如图6所示,纵坐标代表计算所得的试件平均黏结应力,横坐标代表相对滑移值的均值。

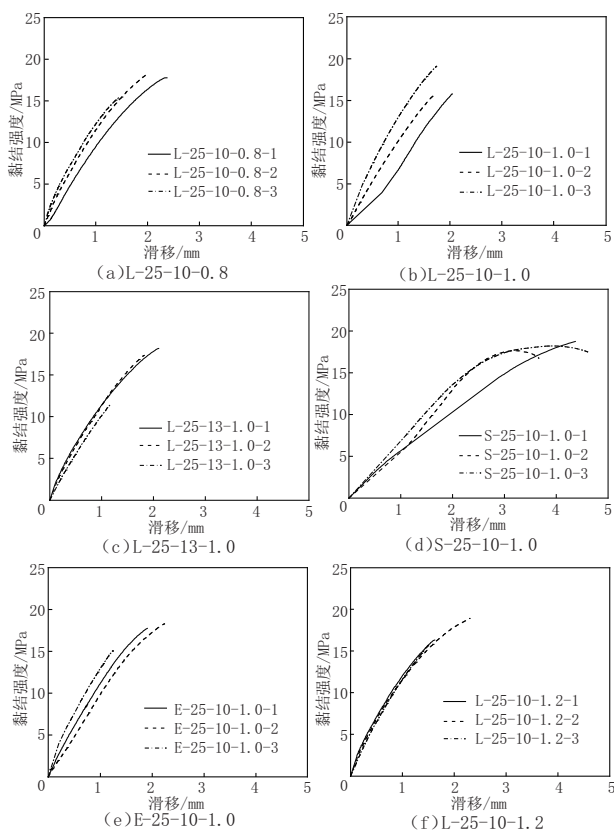


图6 FRP筋-混凝土黏结滑移曲线

4 试验结果分析

4.1 黏结强度

4.1.1 螺纹间距的影响

当筋材直径为25 mm时,螺纹间距为10 mm的FRP筋-混凝土黏结滑移试件的黏结强度为19.8 MPa;螺纹间距为13 mm的FRP筋-混凝土黏结滑移试件的黏结强度为17.78 MPa;螺纹间距由13 mm变为10 mm时,黏结强度降低了10.2%。由此可见,当螺纹间距增大时,黏结强度会随之降低。FRP筋表面的螺纹在与混凝土接触时,提供了机械锚固作用。当螺纹间距增大时,每单位长度FRP筋与混凝土之间的接触面积减少,有效的机械锚固面积随之减少,导致黏结强度降低。

4.1.2 螺纹深度的影响

当筋材直径为25 mm时,螺纹深度为0.8 mm的FRP筋-混凝土黏结滑移试件的黏结强度为17.14 MPa,与螺纹深度为1.2 mm的试件黏结强度接近,而螺纹深度为1.0 mm的试件黏结强度为19.8 MPa,相较于螺纹深度为0.8 mm的试件黏结强度提高了19.43 %。

FRP筋表面螺纹深度增加会增大与混凝土的机械咬合作用,加强FRP筋与混凝土之间的锚固力,从而提高黏结强度。然而,过深的螺纹可能会引起应力集中问题,导致混凝土在螺纹处容易发生脆性破坏。此外,过大的螺纹深度可能在混凝土浇筑过程中导致空隙或不密实的问题,从而削弱黏结性能。

4.1.3 筋材表面处理形式的影响

当筋材直径为25 mm时,筋材表面喷砂的FRP筋-混凝土黏结滑移试件的黏结强度为18.2 MPa,相较于不喷砂的试件黏结强度降低8.08 %,筋材表面二次附胶的试件黏结强度为17.04 MPa,相较于不喷砂的试件黏结强度降低16.76 %。

喷砂处理可能使FRP筋的表面粗糙度不均匀,导致混凝土与FRP筋的接触面不平整,减少有效的机械咬合作用。

4.2 黏结滑移曲线

4.2.1 螺纹间距的影响

观察图7黏结滑移曲线可知,L-25-10-1.0试件黏结滑移曲线的刚度较大,随着滑移值的增长,试件平均黏结应力迅速提高,并且在较低的滑移量即达到黏结强度。螺纹间距更小意味着在单位长度内,螺纹的数量更多,提供了可靠的机械咬合力,使得FRP筋与混凝土之间的黏结更为紧密和有效。

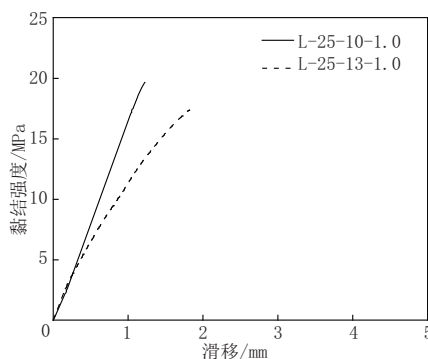


图7 螺纹间距对黏结滑移曲线的影响

4.2.2 螺纹深度的影响

试件L-25-10-0.8和试件L-25-10-1.2的初始刚度相差不大,而试件L-25-10-1.0的初始刚度显著高于试件L-25-10-0.8和试件L-25-10-1.2,且破坏滑移量最低,在滑移量为1.05 mm时即达到黏结强度(见图8)。这说明FRP筋表面螺纹深度为1.0 mm时提供了最有效的机械咬合力,在实践中可看作优化选择。

4.2.3 筋材表面处理形式的影响

由图9可知,试件L-25-10-1.0的初始刚度高于

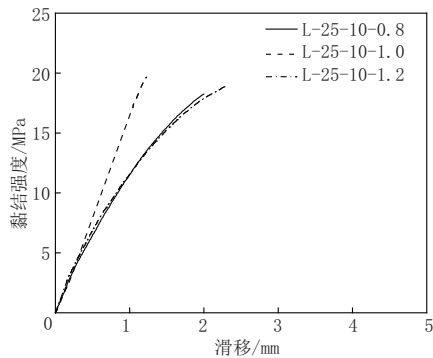


图8 螺纹深度对黏结滑移曲线的影响

FRP 筋材表面喷砂及二次附胶处理的试件,且破坏滑移量显著降低。这可能是因为喷砂和二次附胶处理的效果不理想,没有增加表面的粗糙度和摩擦力,处理不当造成表面损伤,反而降低了机械咬合力。

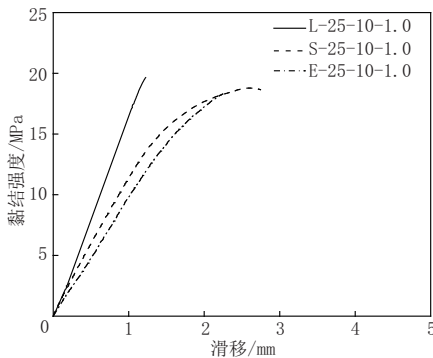


图9 筋材表面处理形式对黏结滑移曲线的影响

5 结 语

通过6组工况共计18个试件的直接拔出试验研

究了FRP筋增强混凝土的黏结滑移性能。通过所得的试验结果,分析了筋材螺旋间距、螺旋深度和筋材表面处理形式3个参数对黏结滑移性能的影响,被讨论的力学性能包括黏结强度和黏结滑移曲线。得出以下结论:筋材表面螺旋间距的提高(10~13 mm)导致黏结强度降低了10.2%,这是有效的机械锚固面积减少所导致;FRP筋材表面螺旋深度为1.0 mm时可以达到最佳黏结性能;FRP筋材表面喷砂及二次附胶处理的试件黏结强度相较于裸筋试件均降低。

参考文献:

[1] 薛文远,胡翔,薛伟辰.玻璃纤维增强复合材料筋与超高性能混凝土之间粘结-滑移本构模型[J].哈尔滨工程大学学报,2023,44(5):698-707.

[2] 王勃,欧进萍,张新越,等.FRP筋与混凝土粘结性能的试验研究[J].低温建筑技术,2006(1):39-41.

[3] 郝庆多,王勃,欧进萍.FRP筋与混凝土的粘结性能[J].建筑技术,2007(1):15-17.

[4] 郝庆多,王言磊,欧进萍.拉拔条件下GFRP筋与混凝土粘结强度试验研究[J].建筑结构学报,2008(1):103-111.

[5] 黄华,郝润奇,黄敏.FRP筋混凝土结构的研究现状分析[J].玻璃钢/复合材料,2018(7):108-116.

[6] 蔡俊辉,蔡培德.FRP筋-混凝土界面粘结性能研究进展[C]//第二十三届全国现代结构工程学术研讨会论文集.广州:广州市丰泰合创实业投资有限公司,广东工业大学土木与交通工程学院,2023:245-250.

[7] 孔令艳,刘树昌,鲍玖文,等.FRP筋与海水海砂混凝土界面粘结性能研究进展[J].硅酸盐通报,2024,43(1):147-157.

[8] 李伟,魏君,张旭.影响FRP筋与混凝土粘结性能的因素分析[J].大众标准化,2024(2):85-87.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

