

文章编号:1673-9469(2009)01-0029-05

TRC 加固构件抗剪粘结强度试验研究

张勤¹, 荀勇², 余斌², 支正东²

(1. 江苏大学, 江苏 镇江 212013; 2. 盐城工学院, 江苏 盐城 224051)

摘要:为了研究织物增强混凝土(TRC)加固层与老混凝土之间的粘结性能,本文对用织物增强混凝土(TRC)薄层加固的RC构件进行了界面剪切试验。粘结试件结合面处分别进行了人工凿糙和植抗剪钢筋两种处理方式,考察了不同界面处理方法对其剪切性能的影响,并探讨了不同粗糙度及植筋率对界面抗剪强度的影响规律。试验结果表明,结合面凿糙和植筋处理均能提高TRC加固层和老混凝土间的粘结性能,凿糙试件的粘结抗剪强度提高幅度较大,其最佳灌砂平均深度范围为2.0mm-4.0mm,植筋试件的粘结抗剪强度和延性均有所提高。

关键词:织物增强混凝土;粘结;抗剪强度;粗糙度;植筋

中图分类号: TU528.57

文献标识码: A

Experimental study on shear bonding strength of textile reinforced concrete (TRC) for strengthening

ZHANG Qin¹, XUN Yong², SHE Bin², ZHI Zheng-dong²

(1. Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

Abstract: In order to study on the bonding behaviour of TRC for strengthening, the shear experiment research on TRC strengthening layer and the old concrete are performed in this paper. The effects of different interfacial techniques, i.e., artificial chiseling, and reinforced bar planting, on the shear properties are investigated, and the influence law of different roughness and ratio of planting reinforced bar on the interface shear strength are studied. The experimental results show that the bonding behaviour between TRC sheet and old concrete are improved prominently by the above two different interfacial techniques. The shear strength of specimens increases greatly when the technique of artificial chiseling is used, and the range of 2.0-4.0mm is recommended as the best average sand-pouring depth. Furthermore, reinforced bar planting can also improve the shear strength and ductility of the specimens.

Key words: textile reinforced concrete; bonding; shear strength; interfacial roughness; reinforced bar planting

织物增强混凝土(TRC),主要是指用耐碱纤维(如:AR-玻璃纤维、碳纤维等)织物来增强高性能细骨料混凝土的一种新型复合材料。TRC用于已有结构维修与加固方面的研究,国外早已开展,并取得了一些重要成果,而国内对于此方面的研究还较少^[1]。无论应用何种材料进行加固,其新老材料结合面处的粘结及应力传递问题都是加固成功与否的关键。对于新老混凝土的粘结性能,目前已进行了大量的研究,主要在新老混凝土宏

观力学性能和微观粘结机理等方面^[2,3],而直接考虑加固层与原构件间的界面粘结性能的研究还相对较少。因此,本文在前人关于新老混凝土粘结性能研究经验与成果的基础上,进行了织物增强混凝土(TRC)加固RC构件的界面剪切试验。TRC加固的老混凝土表面分别采用了人工凿糙和植抗剪钢筋两种界面处理方式,讨论了不同的粗糙度及植筋率对结合面抗剪能力的影响规律。

收稿日期:2008-11-25

基金项目:国家自然科学基金(50378018)

作者简介:张勤(1983-),男,安徽庐江人,硕士研究生,从事新型结构材料应用技术研究。

1 试验概况

1.1 原材料及配合比

试验的老混凝土部分采用钢筋混凝土短柱,尺寸为 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 400\text{mm}$,配筋率 $\rho = 0.89\%$,保护层厚度为 15mm ,配筋图如图 1 所示。混凝土设计等级为 C25,配合比为:水泥:砂:石:水:外加剂 = $1:1.77:3.44:0.46:0.006$ 。采用 32.5 普通硅酸盐水泥、普通河砂、5-25mm 的碎石及普通萘系减水剂浇注而成,其立方抗压强度 28d 实测值为 28.3MPa 。

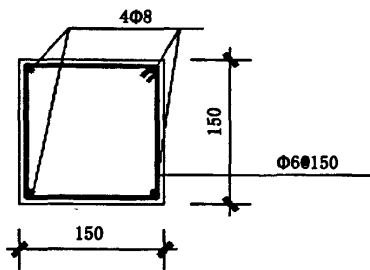


图1 短柱配筋图

Fig.1 Geometry and reinforcement details for specimens

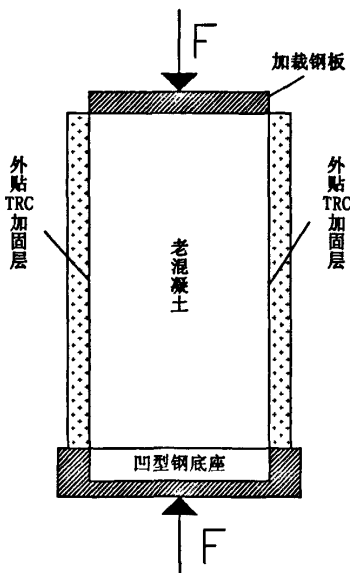


图2 双面剪切示意图

Fig.2 Diagram of shear test

试验加固层采用的是碳纤维织物增强混凝土(TRC)复合材料,主要由碳纤维织物和高性能细骨料混凝土(砂浆)组成。碳纤维织物采用东丽碳丝和无碱玻纤经纬向正交平直布置,用细有机纱线

缝编而成。由中国航天科技集团公司第一研究院七〇三研究所生产,其规格如表 1。高性能细骨料混凝土(砂浆)设计等级为 M50,配合比为:水泥:砂:水:外加剂 = $1:1.36:0.34:0.016$ 。采用江苏八菱海螺水泥有限公司生产的 42.5 普通硅酸盐水泥、普通河砂(用 4.75mm 筛过筛,细度模数为 2.5 左右的 II 区中砂)、南京苏博特新材料有限公司生产的 JM-PCA(I)混凝土超塑化剂(减水能力为 18%~22%)配制而成,其 6 块立方体抗压试块($70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$),28d 抗压强度平均值为 50.5MPa 。为改善织物与基体间界面粘结性能,同时避免加固层中碳纤维织物因受力不均而出现单根纤维断裂现象,在织物铺设前对其进行了浸胶处理。

表 1 碳纤维织物规格

Tab.1 Specifications of carbon fabrics	
东丽碳丝	无碱玻纤
经向 0°	纬向 90°
801tex	1500tex
拉伸强度 4660MPa	拉伸强度 3200MPa
弹性模量 231GPa	弹性模量 65GPa
10 × 10mm 方格网	

1.2 试验方法选择及试件制作

界面抗剪强度作为新老混凝土粘结性能的一项重要力学指标,到目前为止还没有统一的试验方法。国内部分学者^[4-6]采用 Z 型试件进行新老混凝土结合面抗剪性能试验,尚守平^[7]等将钢筋网复合砂浆加固层粘贴在混凝土小构件的两侧,直接进行新加固层与老混凝土的双面剪切试验,研究加固层与老混凝土的剪切粘结性能。本试验的加固层为织物增强混凝土复合材料,一种类似于钢丝网水泥砂浆的无机复合凝胶材料,其加固最大优点之一就是可进行薄层加固。因而,借鉴文献[7]的试验方法,直接在钢筋混凝土短柱两侧设置加固层,进行加固层与老混凝土的界面双剪试验。双面剪切示意图见图 2。

除对比试验组(未进行表面处理)外,本试验分别设计了 6 组粗糙度 H 约为 $1.0\text{mm} - 6.0\text{mm}$ 以及 4 组植筋率 ρ (0.22%, 0.33%, 0.44%, 0.55%) 不同的剪切试件(植筋所用钢筋为 HPB235 钢筋, $f_{yk} = 235\text{N/mm}^2$, 钢筋直径为 6.5mm)。对于凿糙试件,其表面粗糙度用灌砂平均深度来评定;对于植筋试件,按植筋锚固技术施工,在老混凝土两侧分别植 4、6、8、10 根 $\phi 6.5$ 钢筋,每侧都植双排筋,植筋位置距试件边缘的距离均约为 40mm ,植筋间距沿短柱长度方向分别为 300mm 、 150mm 、 100mm 、 80mm 。文献[7]根据试验结果,给出了植筋的基本锚固深度 S,应不小于 $5d$ (d 为植筋直径),且不应

小于4cm。为避免钢筋被拔出,本试验所有钢筋的植筋深度均为50mm(>5d)。植筋的外露长度与加固层厚度相当,约为20mm,但不露于加固层外。

老混凝土表面处理完成后,在试件两侧粘贴织物增强混凝土(TRC)加固层进行双面加固,新老混凝土浇注的龄期差为一个月以上(约36d)。加固时,以与加固层同水灰比的水泥净浆为界面剂,厚度约为1.5mm;每侧加固层均铺设2层织物网,整个加固层厚度约为20mm。

1.3 试验装置及加载方案

本试验在600kN万能试验机上进行。加载

前,要将凹型底座与试件进行对中安置,即使老混凝土两侧边缘线位于凹型底座内,两侧加固层位于凹型底座上。采用位移控制的方案进行正向单调加载,直至试件破坏,加荷速度为0.5mm/min。正式加载前对试件进行2-3次预加载,以消去试件装置加载前存在的空隙以及对试验机数值调零处理。

双面剪切试验抗剪强度按下式计算

$$\tau = P_m / A \quad (1)$$

式中 τ -结合面抗剪强度(MPa); P_m -结合面抗剪极限荷载(N); A -新老混凝土结合面面积(mm²),

表2 粘结试件剪切试验结果

Tab.2 Results of shear test

试件编号	粗糙度 H(mm)	植筋率 (ρ)%	结合面面积 A(mm ²)	极限荷载值 P _m (kN)	抗剪强度 τ (MPa)	平均强度 $\bar{\tau}$ (MPa)
B ₀	B ₀₁ H=0.24		114 155	81.3	0.71	0.83
	B ₀₂ H=0.23	-	113 760	105.9	0.93	
	B ₀₃ H=0.26		115 340	96.3	0.84	
I ₁	I ₁₁ H=1.07		117 612	153.0	1.30	1.36
	I ₁₂ H=1.06	-	115 200	163.6	1.42	
	I ₁₃ H=1.04		117 512	158.2	1.35	
I ₂	I ₂₁ H=2.02		117 263	197.6	1.69	1.61
	I ₂₂ H=2.01	-	116 424	157.3	1.35	
	I ₂₃ H=1.97		117 012	207.7	1.78	
I ₃	I ₃₁ H=2.97		117 216	111.1	0.95(舍)	1.64
	I ₃₂ H=3.04	-	115 275	188.6	1.64	
	I ₃₃ H=3.06		117 512	192.0	1.63	
I ₄	I ₄₁ H=3.99		116 920	111.6	0.95(舍)	1.74
	I ₄₂ H=4.02	-	115 420	201.1	1.74	
	I ₄₃ H=4.11		114 840	198.7	1.73	
I ₅	I ₅₁ H=4.96		116 614	193.3	1.66	1.57
	I ₅₂ H=5.02	-	116 216	174.4	1.50	
	I ₅₃ H=5.05		117 012	182.6	1.56	
I ₆	I ₆₁ H=5.98		117 741	172.9	1.47	1.42
	I ₆₂ H=6.08	-	117 530	161.0	1.37	
	I ₆₃ H=6.15		117 676	110.8	0.94(舍)	
II ₁	II ₁₁ -	4 ϕ 6.5	116 920	130.0	1.11	1.21
	II ₁₂ -	$\rho=0.22\%$	115 632	153.2	1.33	
	II ₁₃ -		116 555	138.7	1.19	
II ₂	II ₂₁ -	6 ϕ 6.5	113 542	171.8	1.51	1.43
	II ₂₂ -	$\rho=0.33\%$	118 800	161.5	1.38	
	II ₂₃ -		117 159	164.3	1.40	
II ₃	II ₃₁ -	8 ϕ 6.5	115 340	137.2	1.19	1.25
	II ₃₂ -	$\rho=0.44\%$	118 008	166.3	1.41	
	II ₃₃ -		115 340	133.5	1.16	
II ₄	II ₄₁ -	10 ϕ 6.5	115 836	131.7	1.14	1.18
	II ₄₂ -	$\rho=0.55\%$	116 028	135.5	1.17	
	II ₄₃ -		119 250	146.9	1.23	

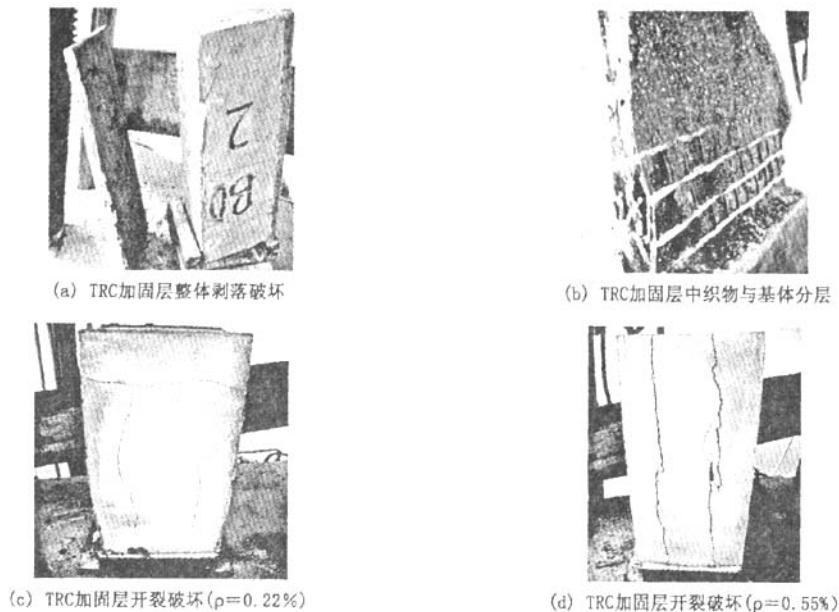


图3 剪切试件破坏图

Fig. 3 Failure patterns of shear specimens

本试验为双面剪切试验,取 $A = 2A_0$; A_0 - 单侧新老混凝土结合面面积,理论值为 $(150 \times 400) \text{mm}^2$,计算按实际面积取值。

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

TRC 加固试件的双面剪切试验结果见表 2。表中个别试件由于试验数据不合理予以舍去,其抗剪强度值相对于 B0 组对比试件最大抗剪强度几乎无提高,这主要是因为试件两侧加固层端部高度相差过大,试验过程中受载不平衡所致。

2.2 试验现象与破坏特征

B₀ 组对比试件,破坏发生在新老混凝土结合处。破坏时,加固层直接从老混凝土上剥落,无明显征兆,属脆性破坏,破坏主要是由于加固层与老混凝土间的界面粘结性能差所致(图 3(a))。

对于凿糙试件,加固层无一出现剥落现象,破坏主要由于 TRC 加固层中织物与基体的分层所致(图 3(b))。分层从加固层的受力端开始,随荷载增大逐渐向末端延伸,一般延伸至构件 1/4 - 1/3 处就导致构件破坏,且随着粗糙度不同,分层剥离的程度也不同,当粗糙度 H 约为 4.0mm 时,分层现象尤为突出,个别试件甚至伴随部分老混凝土被拉裂。本试验进行的双面剪切试验,老混凝土

构件两面粗糙度在凿糙过程中虽已进行了多次灌砂测量来保证一致,但由于人工凿糙的无序性与随即性,仍难以控制两面粗糙度完全相同,故部分构件在试验中出现了单侧加固层破坏现象。

植筋试件,当试验机荷载约为 100kN 时,加固层与老混凝土界面上首先出现裂缝,继续加载,加固层与原混凝土之间开始产生相对位移,此时受力端抗剪钢筋处的加固层混凝土开裂,继而其他钢筋位置处也逐渐开裂。最终,加固层的裂缝沿植筋位置纵向贯穿而破坏。对于植筋率较低($\rho = 0.22\%$)的试件,由于纵向植筋间距较大,纵向裂缝不易贯穿,裂缝开展缓慢,并在横向植筋位置间产生裂缝,构件破坏时,最大裂缝宽度约为 0.5 - 0.8mm(图 3(c))。对于植筋率较高($\rho = 0.55\%$)的构件,破坏时沿植筋点形成两条主要的纵向劈裂裂缝,最大裂缝宽度可达 2 - 3mm(图 3(d))。破坏试件两侧加固层与老混凝土粘结面滑动脱开,但仍未完全脱落,在锚筋作用下还是一个整体,构件的延性较好。

2.3 粗糙度及植筋率对抗剪强度的影响

图 4 给出了粗糙度(H)、植筋率(ρ)对试件界面粘结平均抗剪强度的影响。由图可见,两种结合面处理方法对界面粘结抗剪强度都有显著影响。凿糙试件表面平均粗糙度由 0.24mm 提高到 1.06mm 时,其平均抗剪强度提高了 63.9%,随粗

糙度进一步增大,抗剪强度也持续提高,但提高幅度明显减小(平均粗糙度为 3.05mm 时,其抗剪强度较 2.0mm 时仅提高了 1.9%),当平均粗糙度达 4.07mm 时,界面平均抗剪强度达最大,对比比试件提高了 109.6%。其后,虽粗糙度增加,但抗剪强度却大致成线性递减趋势。

老混凝土试件表面植入一定量的钢筋后,其界面粘结抗剪强度也得到了有效提高,并与植筋率大小相关。当植筋率由 0% 提高到 0.22% 时,其平均抗剪强度提高了 45.8%,植筋率为 0.33% 时,界面平均抗剪强度达到了本系列试验的最值(1.43MPa),对比比试件提高了 72.3%,随植筋率继续增大,试件的平均抗剪强度呈下降趋势,但较对比试件仍有 50% 左右的提高。

由图 4 的对比可看出,结合面凿糙对界面抗剪强度的提高幅度远大于植筋处理,这主要是由于植筋处理的试件,在加固层与原构件发生错动后,钢筋对 TRC 加固层的劈裂作用明显,在钢筋未发挥其全部作用时,加固层就发生了劈裂破坏,且影响程度随植筋率的提高而增加。

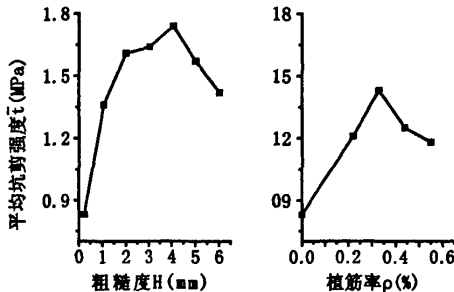


图4 粗糙度(H)、植筋率(ρ)对平均抗剪强度的影响

Fig.4 Influence of the interfacial roughness and ratio of planting reinforced bar to average shear strength

2.4 TRC 加固构件界面破坏机理分析

细骨料混凝土(砂浆)与老混凝土之间的粘结力一般由三部分组成:砂浆与老混凝土之间通过界面剂形成的化学粘结力;加固层与老混凝土之间的摩擦力及结合面凹凸不平产生的机械咬合力^[7]。B₀组对比试件,由于表面相对光滑,其加固层与老混凝土间的粘结力以化学粘结力为主,当界面水泥晶体被剪断后,结合面发生相对滑移,化学粘结力急剧下降,TRC 加固层发生脆性剥落。

老混凝土表面凿糙后,摩擦力和机械咬合力都显著增强,界面粘结力以摩擦力和机械咬合力为主,结合面处粘结薄弱环节得以改善,此时 TRC 加固层中织物网与基体间的界面粘结薄弱环节相

对突出,破坏大都由二者间的分层所致。由试验结果可看出,TRC 加固的两个粘结薄弱环节在试验中表现为消彼长。

植筋试件,初载时,界面粘结力以化学粘结力为主,当荷载增至某一阶段时,结合面开始出现相对滑移,化学粘结力逐渐退出工作,界面剪应力转化为主要由钢筋来承受,并在钢筋处形成应力集中。荷载进一步加大,钢筋处的加固层混凝土不断被劈裂,形成劈裂裂缝,试验机也出现反复的加卸载现象,但荷载变化不大,结合面相对滑移量明显增加。最终,加固层钢筋处的劈裂裂缝贯穿,构件宣告破坏,此时,钢筋的强度还未能充分发挥。

3 结论

1) 织物增强混凝土(TRC)加固构件的界面粘结性能可通过结合面凿糙处理得到改善。试验中,凿糙试件比未处理试件的界面平均抗剪强度最多可提高 109.6%,其最佳的灌砂平均深度范围约为 2.0mm - 4.0mm。

2) 老混凝土表面植入钢筋后,加固层与原构件间的抗剪强度及延性都有所提高,但提高幅度受限于 TRC 加固层的抗劈裂能力。当植筋率为 0.33% 时,界面平均抗剪强度提高最大。但限于试件数量及对植筋的其他参数未做探讨,因此对界面植筋提高粘结性能的研究还有待进一步开展。

3) 应用织物增强混凝土(TRC)进行加固,其加固层中织物与基体间的粘结性能仍是一个值得关注的问题。

参考文献:

- [1] 荀勇,张勤. 织物增强混凝土(TRC)加固技术研究进展[J]. 工业建筑, 2008, 38(增刊): 986 - 992.
- [2] 赵志方,周厚贵,袁群,等. 新老混凝土粘结机理研究与工程应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [3] 谢慧才,李庚英,熊光晶. 新老混凝土界面粘结力形成机理[J]. 硅酸盐通报, 2003, (3): 7 - 10.
- [4] 王振领,林拥军,钱永久. 新老混凝土结合面抗剪性能试验研究[J]. 西南交通大学学报 2005, 40(5): 600 - 604.
- [5] 陈峰,郑建岚. 自密实混凝土与老混凝土粘结强度的直剪试验研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(1): 59 - 63.
- [6] 张雷顺,郭进军. 新旧混凝土植筋结合面剪切性能试验对比[J]. 工业建筑, 2007, 37(11): 71 - 73.
- [7] 尚守平,龙凌霄,曾令宏. 钢筋在钢筋网复合砂浆加固混凝土构件中的性能研究[J]. 建筑结构, 2006, 36(3): 10 - 12.

(责任编辑 刘存英)

TRC加固构件抗剪粘结强度试验研究

作者: [张勤](#), [荀勇](#), [余斌](#), [支正东](#), [ZHANG Qi](#), [XUN Yong](#), [SHE Bin](#), [ZHI Zheng-dong](#)
作者单位: [张勤, 荀勇, ZHANG Qi, XUN Yong \(江苏大学, 江苏, 镇江, 212013\)](#), [余斌, 支正东, SHE Bin, ZHI Zheng-dong \(盐城工学院, 江苏, 盐城, 224051\)](#)
刊名: [河北工程大学学报 \(自然科学版\)](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING \(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2009, 26 (1)
被引用次数: 1次

参考文献(7条)

1. [荀勇;张勤](#) 织物增强混凝土(1FRC)加固技术研究进展[期刊论文]-[工业建筑](#) 2006(zk)
2. [赵志方;周厚贵;袁群](#) 新老混凝土粘结机理研究与工程应用 2003
3. [谢慧才;李庚英;熊光晶](#) 新老混凝土界面粘结力形成机理[期刊论文]-[硅酸盐通报](#) 2003(03)
4. [王振领;林拥军;钱永久](#) 新老混凝土结合面抗剪性能试验研究[期刊论文]-[西南交通大学学报](#) 2005(05)
5. [陈峰;郑建岚](#) 自密实混凝土与老混凝土粘结强度的直剪试验研究[期刊论文]-[建筑结构学报](#) 2007(01)
6. [张雷顺;郭进军](#) 新旧混凝土植筋结合面剪切性能试验对比[期刊论文]-[工业建筑](#) 2007(11)
7. [尚守平;龙凌霄;曾令宏](#) 钢筋在钢筋网复合砂浆加固混凝土构件中的性能研究[期刊论文]-[建筑结构](#) 2006(03)

引证文献(1条)

1. [徐世焯, 阎轶群](#) 低配网率纤维编织网增强混凝土轴拉力学性能[期刊论文]-[复合材料学报](#) 2011(5)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200901007.aspx