

文章编号: 1000-5013(2010)01-0078-05

石材受弯构件复合加固界面粘结性能试验

王 兰, 郭子雄

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 进行 15 个石材复合砂浆试件粘结性能双剪推出试验, 研究砂浆种类、砂浆强度和抗剪连接件等参数对砂浆与花岗岩石材界面粘结强度的影响. 试验研究表明, 自配改性砂浆比商品聚合物砂浆具有更好的界面粘结性能; 界面植入 U 型抗剪连接件, 能较显著提高砂浆与石材的界面粘结抗剪强度; 采用自配改性砂浆和商品聚合物砂浆, 其界面抗剪强度均可满足石材受弯构件加固界面抗剪需求.

关键词: 钢筋网砂浆; 石材; 粘结抗剪强度; 抗剪连接件

中图分类号: TU 57+ 8. 102 文献标识码: A

钢筋网砂浆层加固法因其施工简单, 造价低廉等特点, 广泛应用于钢筋混凝土结构及砖砌体结构等加固工程中^[1]. 保证钢筋网砂浆层加固有效的重要条件是, 原结构与加固层能共同工作, 从而要求加固砂浆层与原结构面有较好的粘结性能. 闽南地区的村镇存在大量石结构楼盖, 由于石楼板的抗弯能力较差, 存在严重安全隐患, 急需进行加固^[2]. 基于经济和安全考虑, 拟采用改性砂浆钢筋网进行石楼板抗弯承载力加固. 对于混凝土等材料的界面粘结性能已开展较多研究, 取得卓有成效的研究成果^[3-8], 但有关石材与砂浆界面粘结性能尚未见研究报道. 因此, 本文进行了改性砂浆与石材界面粘结性能试验研究, 为后续加固试验和工程应用提供依据.

1 试验概况

1.1 试件设计

选择“凸”型试件作为推出试验的试件形式, 其尺寸及实物图如图 1 所示. 砂浆体尺寸为 100 mm × 180 mm × 270 mm; 石材选用 210 mm × 210 mm × 270 mm 长方体闽南地区花岗岩料石, 表面采用人工

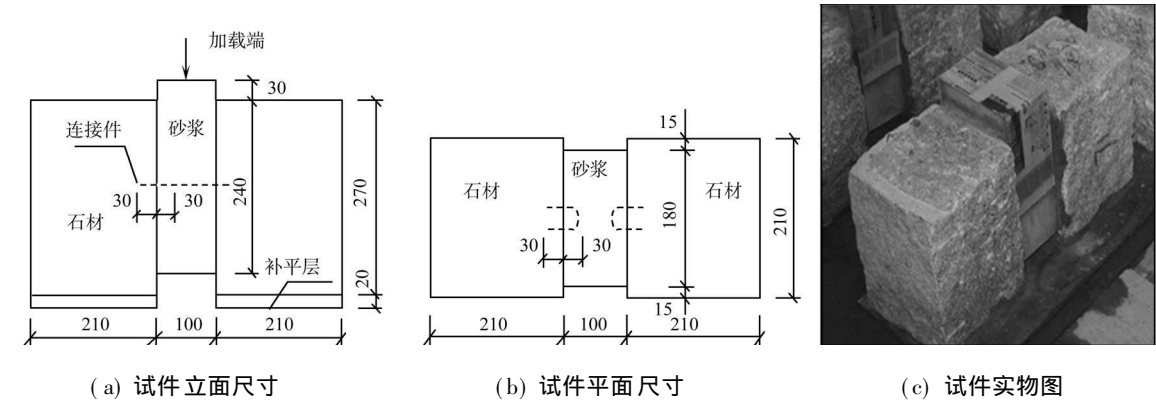


图 1 试件尺寸及实物图(单位: mm)

Fig. 1 Size of specimen(unit: mm)

劈裂后的自然界面, 以模拟既有石楼板的原始界面. 砂浆体采用人工插捣的方式制作成型, 共制作 15 个

收稿日期: 2009-02-27

通信作者: 郭子雄(1967-), 男, 教授, 主要从事抗震防灾的研究. E-mail: guozxey@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家十一五科技支撑计划(2006AJ06B03); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-06-0571)

试件, 分为 6 组. 试件的参数如表 1 所示.

为考察不同因素对界面粘结强度的影响, 进行了不同砂浆种类、砂浆强度和抗剪连接件的对比试验. 选用 3 种不同砂浆, 两种自行配制改性砂浆和一种商品聚合物砂浆. 选择两种强度等级, 改性砂浆设计强度为 20 MPa, 商品聚合物砂浆设计强度为 20, 40 MPa(分别用 A, B 表示). 选择的因素主要考虑以下 3 点: (1) 作为结构层的砂浆强度要求较高; (2) 满足石板加固时倒挂施工的抗垂挂性要求; (3) 在满足前两个要素的条件下, 考虑在农村推广, 要求造价尽量低.

表 1 试件参数

Tab. 1 Details of specimens

试件	砂浆种类	剪力键	$f_{m, cu} / \text{MPa}$	试件	砂浆种类	剪力键	$f_{m, cu} / \text{MPa}$
MCU1~ MCU2	砂浆 I	有	18.31	MSA9~ MSA10	聚合物砂浆 A	无	33.69
MC3~ MC5	砂浆 I	无	18.31	MSB11~ MSB13	聚合物砂浆 B	无	50.55
MCZ6~ MCZ8	砂浆 II	无	23.32	MSU14~ MSU15	聚合物砂浆 B	有	50.55

自行配制砂浆在普通水泥砂浆的基础上添加 104 胶和纤维素醚, 改善其施工性能. 砂浆配比及实测立方体试块抗压强度, 如表 2 所示. 商品聚合物砂浆 A, B 的实测立方体 28 d 抗压强度, 分别为 33.69, 50.55 MPa. 界面剂根据砂浆的不同而选用, 即改性砂浆试件采用水泥净浆(水灰比为 0.5), 聚合物砂浆采用同厂家提供的底涂, 其水干粉比为 0.5.

表 2 砂浆配比及强度

Tab. 2 Mix ratio and properties of mortar

砂浆种类	实验配比					$f_{m, cu} / \text{MPa}$
	水泥	中砂	纤维素醚	104 胶	水	
改性砂浆 I	1	3	0.003	0	0.604	18.31
改性砂浆 II	1	3	0.003	0.107	0.540	23.32

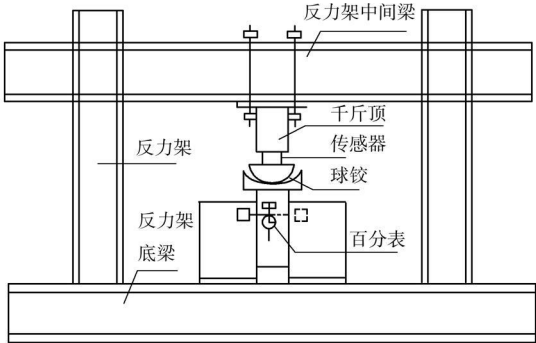
为考察 U 型连接件对界面粘结强度的影响, 在试件 MCU 1, MCU 2 和 MSU 14, MSU 15 界面植入一个 U 型连接件. 钢筋采用 $\Phi 6$ 钢筋, 植入石材深度为 30 mm, 突出石材表面高度为 30 mm. 连接件的设置示意, 如图 1 所示.

1.2 试验装置及测量方案

图 2 为试验加载装置, 推出力采用 30 t 液压千斤顶加载. 采用分级增量加载方式, 每级荷载级差为 5 kN, 荷载持荷 30 s, 直到试件破坏. 前、后中心对称设置两个百分表, 用于测量石块与砂浆体加载过程中的粘结滑移值, 测量精度为 0.01 mm. 试验过程力与位移通过 DH3816 型数据采集仪自动采集.



(a) 加载装置实物图



(b) 加载装置示意图

图 2 试验加载装置

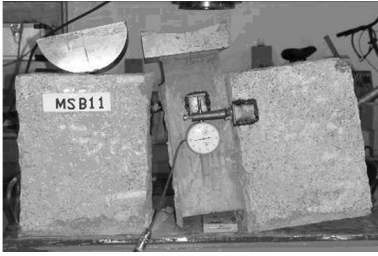
Fig. 2 Loading set up

2 试验结果及分析

2.1 试验现象与破坏形态分析

试件最终的破坏有如下 4 种形式: (1) I 型破坏, 即单面粘结破坏, 如图 3(a) 所示; (2) II 型破坏, 即双面粘结破坏, 如图 3(b), (c) 所示; (3) I + X 型破坏, 即单面粘结破坏, 伴随砂浆体受压破坏, 如图 3

(d), (e) 所示; (4) II + X 型破坏, 即双面粘结破坏, 伴随砂浆体受压破坏, 如图 3 (f), (g) 所示.



(a) I 型破坏



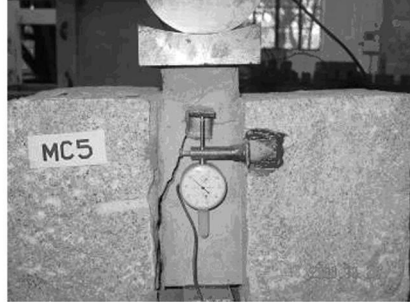
(b) II 型破坏



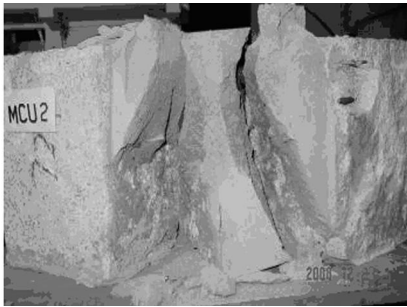
(c) II 型破坏(带连接件)



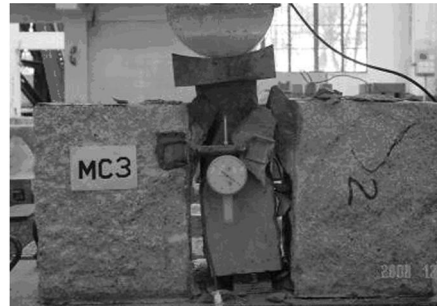
(d) I + X 型破坏(带连接件)



(e) I + X 型破坏(不带连接件)



(f) II + X 型破坏(带连接件)



(g) II + X 型破坏(不带连接件)

图 3 试件最终的破坏形态

Fig. 3 The ultimate failure of specimens

第 1 组试件 MCU1~ 2, 第 2 组试件 MC3~ 5, 由于砂浆体强度值较设计强度值低, 人工插捣不实, 致使砂浆体强度偏低, 在发生界面粘结破坏的同时, 砂浆体被压坏. 第 3 组试件 MCZ6~ 8, 第 4 组试件 MSA9~ 10, 第 5 组试件 MSB11~ 13 和第 6 组试件 MSU14~ 15, 砂浆体强度较设计强度高, 试验过程中均未出现砂浆体破坏现象, 界面最终发生粘结破坏. 所有试件在破坏时均伴随一声闷响, 荷载值达到最大, 粘结滑移位移均很微小, 不超过 0.3 mm. 可以认为, 粘结破坏为完全脆性破坏.

(1) I 型破坏. MCZ6~ 8, MSA9 和 MSB11~ 13 的破坏模式均为 I 型(图 3a). 破坏前, 在单面粘结界面上部出现向加载中心方向发展的细小斜向裂缝; 随着荷载的增加, 裂缝扩展缓慢, 破坏前最大宽度约 1 mm; 最后, 单面粘结界面突然脱开, 砂浆体完好.

(2) II型破坏. MSA10 和 MSU 14~ 15 的破坏模式均为 II型(图 3b, c). 破坏前, 在粘结界面出现细小裂缝, 随后在砂浆的上部出现细小斜向裂缝, 界面处的裂缝随着荷载增加逐渐向上扩展; 最后, 裂纹贯通整个界面, 破坏突然, 双面粘结界面脱开. 破坏后, 试件 MSA10 的砂浆体与石块完全脱开; 试件 MSU14~ 15 因连接件的存在, 砂浆体与石块尚紧密连接在一起, 连接件未破坏.

(3) I + X型破坏. MCU 1, MC4~ 5 的破坏模式均为 I + X型(图 3d, e). 破坏前, 在单面粘结界面中部出现向加载中心方向发展的斜向裂缝, 并随着荷载的增加, 裂缝不断扩展, 破坏前最大宽度约 5 mm; 在斜裂缝出现前, 均出现承压面砂浆体角部受压竖向裂缝; 最后, 砂浆体在裂缝处破坏, 裂缝以下单面粘结界面脱开. 带抗剪连接件的试件 MCU1 破坏时, 破坏面穿过连接件.

(4) II + X型破坏. MCU2, MC3 的破坏模式均为 II + X型(图 3f, g). 破坏前, 在双面粘结界面中

部出现向加载中心方向发展的斜向裂缝, 并随着荷载的增加, 裂缝不断扩展, 破坏前最大宽度约 3~ 5 mm; 在斜裂缝出现前, 均出现承压面砂浆体角部受压竖向裂缝; 最后, 砂浆体在裂缝处破坏, 裂缝以下双面粘结界面脱开. MCU2 破坏时, 两边破坏面均穿过连接件, 砂浆体破坏严重. MC3 破坏时, 砂浆体上部承压处破坏.

2.2 粘结强度及影响因素分析

粘结强度 (E) 等于破坏荷载值 (P) 与粘结面面积 (A) 的比值, 试验结果如表 3 所示. 在表 3 中, 粘结面积均取两个粘结界面的实测面积之和.

表 3 试验结果数据
Tab.3 Test results

试件	A/mm^2	P/kN	E/MPa	破坏形式	试件	A/mm^2	P/kN	E/MPa	破坏形式
MCU1	79 900	259.31	3.27	I + X 型	MSA9	82 280	130.59	1.59	I 型
MCU2	80 840	248.22	3.07	II + X 型	MSA10	80 496	232.76	2.89	II 型
MC3	81 600	252.44	3.09	II + X 型	MSB11	79 900	135.12	1.69	I 型
MC4	80 920	244.94	3.03	I + X 型	MSB12	80 580	92.79	1.15	I 型
MC5	81 260	190.27	2.34	I + X 型	MSB13	81 600	106.22	1.30	I 型
MCZ6	82 560	168.08	2.04	I 型	MSU14	81 738	270.25	3.31	II 型
MCZ7	82 904	112.16	1.35	I 型	MSU15	81 656	282.28	3.46	II 型
MCZ8	83 520	195.11	2.34	I 型					

(1) 抗剪连接件的影响, 如图 4(a) 所示. 带抗剪连接件的试件, 其最大粘结强度值均高于不带抗剪连接件的试件强度值. 其中: 试件 MCU1 与 MC4, MC5 同为 I + X 型破坏模式, MCU1 设置抗剪连接件后较 MC4, MC5 平均值、粘结强度约提高 21%; MCU1 破坏时, 破坏面穿过连接件, 可认为连接件尚未完全发挥作用. 试件 MSU14, MSU15 的粘结强度远远高于对比件 MSB13.

由表 3 可知, MSU14~ 15 与 MSB13 破坏模式不同, 分别为双面粘结破坏和单面粘结破坏. 取 MSB11~ MSB13 平均粘结强度的 2 倍作为双面粘结破坏强度, 与 MSU14, MSU15 的粘结强度平均值进行比较, 带抗剪连接件的试件粘结强度较对比试件提高 23%. 综合比较, 可以认为, 抗剪连接件对界面粘结强度有较显著的提高作用.

(2) 砂浆种类的影响, 如图 4(b) 所示. 采用自配改性砂浆试件 MC4, MCZ6 和 MCZ8, 与采用商品聚合物砂浆的试件 MSA9 和 MSB13 相比较, 破坏模式同为 I 型破坏, 前者最大界面粘结强度较高. 由此表明, 自配改性砂浆较商品聚合物砂浆, 与石材的界面粘结性能更好, 可用于后续石板加固试验.

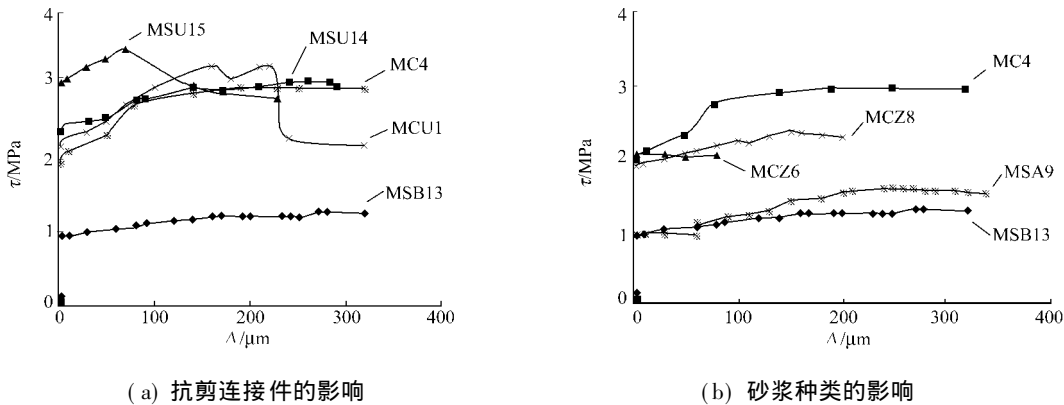


图 4 粘结强度-粘结滑移曲线

Fig. 4 Adhesive strength-adhesive slippage curve

(3) 砂浆强度的影响, 如表 3 所示. 试件的破坏模式不同, 不能简单进行比较. 设抗剪连接件的试件, MCU2 与 MSU14, MSU15 破坏模式可认为同为双面粘结破坏, 其中 MCU2 为不完全粘结破坏. MSU14, MSU15 的粘结强度较 MCU2 的粘结强度约高出 10%; 未设抗剪连接件的试件 MSA10 与 MC3, 可认为同为完全双面粘结破坏, MC3 的粘结强度较 MSA10 约高出 7%. MSA9 与 MSB11~ MSB13 相比较, 同为完全单面粘结破坏, MSA9 的粘结强度较 MSB11~ MSB13 约高出 15%. 综合破坏

形态和数据分析,不同砂浆强度的试件,粘结强度上、下相差不大于 15%,可认为试件的粘结强度差别不大。由此可推定,砂浆强度对砂浆石材粘结性能的影响不大。

(4) 由表 3 可看出,所有试件的粘结强度均大于 1 MPa,石楼板加固试件所需的界面抗剪强度理论计算值不超过 0.5 MPa。说明,砂浆与石材的粘结性能满足加固试验的界面抗剪需求。

3 结 束 语

自配改性砂浆和商品聚合物砂浆与自然粗糙的花岗岩石材界面粘结性能良好,界面粘结强度均可满足加固界面抗剪强度需求;植入抗剪连接件,可较显著提高界面粘结强度。砂浆强度对界面粘结性能的影响不明显,当砂浆强度大于 20 MPa 时,粘结强度未见明显差异,其影响效果有待进一步研究。自配改性砂浆较商品聚合物砂浆,与石材界面粘结强度更好。由于自配改性砂浆造价较低,适于农村石楼板加固,可为后续加固试验和工程应用提供依据。

参考文献:

[1] 蒋隆敏,张毛心. 钢丝网水泥砂浆片材用于结构加固的研究综述[J]. 建筑结构, 2004, 34(3) : 7-11.

[2] 刘 阳,郭子雄,杨 勇,等. 闽南地区农村住宅安全性现状及防灾建议[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2007, 28 (1) : 63-67.

[3] 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.

[4] JULIO E N B S, BRANCO F A B , SILVA V D. Concrete to concrete bond strength: Influence of the roughness of the substrate surface[J]. Construction and Building Material, 2004, 18(9) : 675-681.

[5] 聂建国,王寒冰,张天申,等. 高强不锈钢绞线网 渗透性聚合砂浆抗剪加固的试验研究[J]. 建筑结构学报, 2005, 26 (2) : 10-17.

[6] 卜良桃. 高性能水泥复合砂浆与混凝土粘结的剪切性能试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2008, 34(3) : 64-67.

[7] ANDREAS L, FRANK W. The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete[J]. Cement and Concrete Composites, 2007, 29(5) : 341-349.

[8] AUSTIN S, ROBINS P, PAN Y G. Shear bond testing of concrete repairs[J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29(7) : 1067-1076.

Experimental Study on the Interface Bonding Between
Stone and Mortar in Strengthening
the Flexural Stone Member

WANG Lan, GUO Zi-xiong

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Double shear push out experiments of 15 specimens are carried out, to investigate the influence of various factors on the interface bonding strength between mortar and stone, including the kind and strength of mortar, and shear connector. The experimental results show that the interface bonding performance of the specimens with self made modified mortar is better than the one with commercial polymer mortar. The embedded U-shape shear connector can significantly improve the interface bonding strength between mortar and stone. The interface bonding strength of both self made modified mortar and commercial polymer mortar can meets the interface shear requirement in strengthening the flexural stone member.

Keywords: mesh reinforcement cement mortar; stone; adhesive shear strength; shear connector

(责任编辑: 钱 筠 英文审校: 方德平)