

销钉用于 HPF 加固混凝土构件的界面黏结性能

卜良桃, 罗兴华, 高伟

(湖南大学土木工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 为了对 HPF 加固混凝土构件界面黏结性能进行研究, 通过外包 HPF 加固混凝土试件的双面剪切试验, 研究了修补界面所植入抗剪切销钉对界面黏结性能的影响. 试验结果表明, 植入销钉能够有效提高界面的黏结性能, 提高试件抗剪承载力. 销钉因素对界面黏结性能的灰关联分析表明, 钢筋的级别对界面黏结性能的影响最大, 其次是植入销钉的数量, 再次是销钉的直径大小.

关键词: 销钉; 高性能复合砂浆; 混凝土加固; 黏结性能; 灰关联分析

中图分类号: TU528.043 文献标识码: A 文章编号: 1000-1980(2008)03-0367-04

高性能水泥复合砂浆钢筋网(简称 HPF)加固法是混凝土结构的新型加固补强方法. HPF 加固法作为一种薄层无机复合材料加固法, 与其他加固方法相比更有优势, 如抗裂性能好、耐高温、基本不增加原结构质量和几何尺寸, 且施工简单、价格便宜、适用面广, 因此具有巨大的科研价值和广阔的应用前景^[1].

HPF 加固法作为一种新型的加固方法, 与其他加固方法一样, 在具体施工中也存在着新老界面的黏结问题, 如果处理不好, 将导致结构加固失效^[2]. 高性能水泥复合砂浆与混凝土之间存在着化学黏结力、摩擦力、机械咬合力, 但新老黏结界面仅仅由混凝土与高性能水泥复合砂浆之间的作用力来承担实际结构的荷载是不现实的, 所以必须通过植入剪切销钉来进一步增强新老结构界面的黏结性能^[3].

已有的植筋技术主要通过植筋的拉拔试验研究植筋的黏结性能^[4-6], 而本文主要通过外包 HPF 加固混凝土试件的双面剪切试验, 研究修补界面所植入抗剪切销钉对界面黏结性能的影响.

1 试验方案

1.1 原材料及相关配合比

试验中混凝土强度等级设计为 C20. 高性能水泥复合砂浆的组成为: 42.5 级普通硅酸盐水泥, 中砂, 以及由聚丙烯纤维、钙矾石型膨胀剂、硅灰及粉煤灰等超细掺和料组成的外加剂(HPFC). 本次试验设计的高性能水泥复合砂浆的强度等级为 M50, 其配合比为 1.00:1.50:0.16:0.44(水泥、砂、HPFC、水之比), 试件实际立方体抗压强度平均值为 49.20 MPa.

试验采用 2 种界面剂: 水泥净浆和 AB 组分无机界面剂. 水泥净浆配合比为 1:0.4(水泥与水之比). AB 组分无机界面剂由 A、B 两组分构成: A 组分为树脂系列减水剂, 为水剂; B 组分为水泥基复合的含 18% 的硅灰、粉煤灰等超细掺和料组成的无机界面剂, 为粉剂, 其配合比为 1.00:33.30:9.00(A 组分、B 组分、水之比). 试验采用的销钉钢筋为 2 种级别: HRB335 和 HRB400.

1.2 试件的制作

混凝土试件的尺寸为 440 mm × 300 mm × 150 mm, 设计强度为 C20. 混凝土试件浇筑完成 1 年后采用 HPF 进行双面加固, 首先进行表面的适度凿毛, 其次采用机械钻孔, 孔径与孔深符合设计的要求, 然后配制植筋胶和制作销钉以及植入销钉, 植入销钉 24 h 后进行表面界面剂涂刷, 最后放置钢丝网和人工抹水泥复合砂浆. 为了测试销钉在剪切试验中的应变变化, 在部

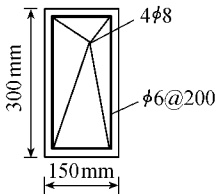


图 1 混凝土试件截面配筋示意图

Fig.1 The cross section schematic diagram of reinforcement of a concrete specimen

分试件的销钉上贴上了应变片做尝试性的测试。

1.3 试验方案

销钉均匀对称植入混凝土试块侧面,按其数量、钢筋级别、直径大小分组,试验分3组进行,第1组为1~3号,第2组为4~7号,第3组为8~13号。其中第1组未植入销钉,其余各组销钉植入深度不低于5倍的销钉直径且间距不小于销钉植入深度的2倍。4~10号的每一个试件在加固前都选择3个销钉贴上了应变片,以便测试剪切试验中的销钉应变情况。具体试验参数见表1。

1.4 试验程序

剪切试验在200t万能压力机上进行,试验示意图见图2。首先在试验机的下压板上放置凹形钢底座,其突出部分为50mm,加固层宽度为25mm,然后放置试件,使试件的加固层与凹形底座的突出部分对应且原混凝土试件正好对应于凹形上方;再在试件的上方放上厚度为20mm,宽度为150mm的加载钢板,以形成对加固层与原有混凝土黏结界面的剪切。第1组试件试验机连续均匀加载至破坏,而第2组和第3组试件试验机为等荷载分级加载以便记录销钉的应变值,每一级大约为30kN。

2 试验结果及分析

2.1 试验结果及破坏形态

通过对试验结果的初步计算得出单根销钉所承受的荷载,选取销钉的最大应变数据作为尝试性分析的依据。试验结果与破坏形态归纳如表2所示。

2.2 试验结果分析

从表2可看出,第1组试件未植入销钉,抗剪承载力要比第2组和第3组植入销钉的情况小;另外黏结界面凿毛处理后的抗剪承载力要比未凿毛的大很多且破坏不会很突然。因此界面的凿毛处理与植入销钉对抗剪承载力的提高都有较大的作用,都有助于提高界面黏结性能。

由第2组和第3组试验结果可知:同样的钢筋级别与直径大小,销钉的根数越多,抗剪承载能力越大,单根销钉承受的荷载说明这并非呈线性增长;当钢筋级别与销钉数量一定时,销钉的直径越大,抗剪切承载力越大。

大部分试件的破坏形态为两侧加固层均出现剥离,只有少数为单侧剥离。试件6、9、12、13在破坏时,加固的砂浆层除了与原有的混凝土剥离,还存在多条裂缝,这说明破坏仍由黏结因素控制,但裂缝明显增多,这可能因为销钉的数量较多,直径较大而混凝土试件较小,从而对原混凝土构件的损伤增大而形成裂缝,这种裂缝在实际工程中是可以控制的。

对试验过程中压力机加载时指针的卸载情况观察发现:试件2和试件3分别在其破坏荷载的78%及82%时出现卸载现象,试件1的加固层突然剥离。植入销钉的其余试件卸载主要出现在破坏荷载的50%~

表1 剪切试验试件参数

Table 1 Specimen shear test parameters					
编号	钢筋级别	钢筋直径/mm	销钉数量	销钉植入深度/mm	混凝土表面处理
1-1					未做凿毛处理
1-2					中度凿毛
1-3					中度凿毛
2-4	HRB400	6	5	40	中度凿毛
2-5	HRB400	6	9	40	中度凿毛
2-6	HRB400	6	12	40	中度凿毛
2-7	HRB400	8	5	40	中度凿毛
3-8	HRB335	8	9	40	中度凿毛
3-9	HRB335	8	12	40	中度凿毛
3-10	HRB335	10	5	50	中度凿毛
3-11	HRB335	10	9	50	中度凿毛
3-12	HRB335	10	12	50	中度凿毛
3-13	HRB335	12	9	50	中度凿毛

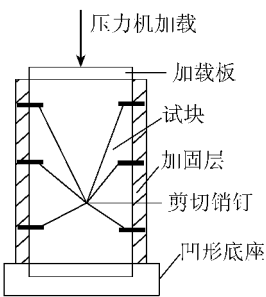


图2 试验加载示意图
Fig.2 The schematic diagram of loading

表2 试验结果与破坏形态

Table 2 The test results and failure modes				
编号	F/kN	F'/kN	ϵ_m	破坏形态
1-1	28			加固层突然脱开
1-2	162			一侧脱开,另一侧出现裂缝
1-3	172			一侧脱开,另一侧局部砂浆压碎
2-4	260	9.3	422	两侧均剥离且有斜裂缝出现
2-5	340	9.6	610	两侧均剥离
2-6	368	8.4	145	两侧均剥离且有多条裂缝
2-7	302	13.5	1372	一侧整体脱开,另一侧相对位移较小
3-8	322	8.6	1101	两侧均剥离,底部砂浆局部有压裂现象
3-9	388	9.2	102	一侧剥离,另一侧出现多条裂缝且有空鼓声
3-10	300	13.3	796	两侧未出现明显的剥离,但敲击有空鼓声
3-11	320	8.5	836	两侧均剥离,相对位移较小
3-12	369	8.4	408	两侧均剥离且出现多条裂缝
3-13	380	11.9	945	一侧脱开,另一侧局部出现多条斜向裂缝

注: F 为极限抗剪承载力; F' 为单根销钉承受的荷载; ϵ_m 为销钉拉应变测试值中的最大值。

71% 之间,且在卸载现象出现后仍然存在较大的承载能力并出现多次卸载现象.卸载现象表明,销钉有助于提高试件延性,销钉的存在使界面黏结应力出现多次的应力重分布,而使试件的黏结性能得到改善与提高.

3 销钉因素对界面黏结性能影响的灰关联分析

销钉的有关参数对界面黏结性能的增强作用存在一定的模糊性与不确定性.本文仅选取了销钉的级别、直径、数量 3 个因素进行试验且试验数据有限,这便加剧了黏结性能评估的不确定性.用通常的方法分析要求数据量大,并难以获取有效的结果.灰色理论^[7]提供了一种新的分析方法,即灰关联分析法,该分析法根据因素间的发展趋势的相异程度来确定因素间的关联程度大小,研究的是“少数据不确定性”问题.本文应用灰关联分析法对 HPF 加固后的混凝土试件的抗剪切承载力与销钉关联因子进行关联度分析,找出影响黏结界面抗剪切承载力的主要因素并对其关联因子进行排序^[8-10].

根据本次剪切试验所得的试验数据,选用植有销钉的 10 个试件作为研究对象.为分析各因素间的关联程度,选取抗剪承载力序列 $(x_0(k))$ 序列)作为母因素序列,销钉的钢筋级别(此处用销钉的屈服强度)序列 $(x_1(k))$ 序列)、销钉的直径(此处用钢筋面积)序列 $(x_2(k))$ 序列)、销钉的数量序列 $(x_3(k))$ 序列)作为子因素序列进行灰关联分析.相关数据见表 3.

无量纲处理即首先把一个数列的平均值求出,然后把这个数列的所有数据都用它的平均值去除,从而得到一个新的无量纲化的数列.计算公式为 $x'_i(x) = \frac{x_i(x)}{\bar{x}_i}$,其中 $\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i(k)$.对各序列进行无量纲处理得表 4.

表 3 试件数据及试验结果						表 4 无量纲处理后的数据序列				
Table 3 Specimen data and test results						Table 4 The nondimensional data sequence				
序号	试件编号	抗剪承载力/kN	屈服强度/MPa	销钉面积/mm ²	销钉数量	k	$x'_0(k)$	$x'_1(k)$	$x'_2(k)$	$x'_3(k)$
1	2-4	260	440.0	28.27	5	1	0.7764	1.1224	0.4838	0.5747
2	2-5	340	440.0	28.27	9	2	1.0152	1.1224	0.4838	1.0345
3	2-6	368	440.0	28.27	12	3	1.0988	1.1224	0.4838	1.3793
4	2-7	302	440.2	50.27	5	4	0.9018	1.1224	0.8603	0.5747
5	3-8	322	360.0	50.27	9	5	0.9615	0.9184	0.8603	1.0345
6	3-9	388	360.0	50.27	12	6	1.1586	0.9184	0.8603	1.3793
7	3-10	300	360.1	78.54	5	7	0.8958	0.9184	1.3441	0.5747
8	3-11	320	360.1	78.54	9	8	0.9555	0.9184	1.3441	1.0345
9	3-12	369	360.1	78.54	12	9	1.1018	0.9184	1.3441	1.3793
10	3-13	380	359.7	113.10	9	10	1.1347	0.9184	1.9355	1.0345

将表 4 中数据代入公式 $\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$ 计算得到各差序列 $\Delta_i(k)$,而 $\Delta_i = \{\Delta_i(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$,计算得

$$\Delta_1 = \{0.3460 \ 0.1072 \ 0.0236 \ 0.2206 \ 0.0431 \ 0.2402 \ 0.0226 \ 0.0371 \ 0.1834 \ 0.2163\}$$
$$\Delta_2 = \{0.2926 \ 0.5314 \ 0.6150 \ 0.0415 \ 0.1012 \ 0.2983 \ 0.4483 \ 0.3886 \ 0.2423 \ 0.8008\}$$
$$\Delta_3 = \{0.2017 \ 0.0193 \ 0.2805 \ 0.3271 \ 0.0730 \ 0.2207 \ 0.3211 \ 0.0790 \ 0.2775 \ 0.1002\}$$

将数据代入公式 $\Delta_{\max} = \max_i \max_k \Delta_i(k)$ 和 $\Delta_{\min} = \min_i \min_k \Delta_i(k)$ 可以分别求出最大绝对差值 $\Delta_{\max}$ 和最小绝对差值 $\Delta_{\min}$,再根据公式

$q_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_i(k) + \xi \Delta_{\max}}$ 求得 $q_i(k)$,其中 $\xi = 0.5$,计算得各关联系数如表 5 所示.

将表 5 中的数据代入公式 $\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_i(k)$,计算各因素关联度,得: $\gamma_1 = 0.8007$, $\gamma_2 = 0.5886$, $\gamma_3 = 0.7368$.由此可见,本次试验选取的销钉 3 个因素中,钢筋的级别对界面黏结性能的影响最大,其次是植入销钉的数量,销钉的直径大小影响最小.由于 $\gamma_1 > 0.8$, $\gamma_3 > 0.7$,说明钢筋级别、销钉的植入数量与界面黏结性能的相关程度高.

表 5 各因素的关联系数			
Table 5 The relational coefficients of the factors			
k	$q_1(k)$	$q_2(k)$	$q_3(k)$
1	0.5623	0.6057	0.6972
2	0.8268	0.4504	1.0000
3	0.9899	0.4134	0.6164
4	0.6758	0.9498	0.5769
5	0.9463	0.8367	0.8866
6	0.6552	0.6007	0.6757
7	0.9922	0.4946	0.5817
8	0.9594	0.5320	0.8755
9	0.7188	0.6531	0.6191
10	0.6806	0.3494	0.8384

4 结 论

a. 黏结界面凿毛处理后的试件破坏荷载要比未凿毛的大很多且不会呈现突然破坏状态, 植入销钉与未植销钉的试件相比, 其破坏荷载要明显高于未植销钉的, 因此界面的凿毛处理与植入销钉对试件抗剪承载力的提高都有较大的作用, 这也意味着 2 种措施有助于界面黏结性能的提高。

b. 同样的钢筋级别与直径大小, 植入销钉的数量越多, 抗剪承载能力越大, 单根销钉承受的荷载说明抗剪承载力并非与植筋数量呈线性增长, 因此在满足植筋间距和深度构造要求的前提下, 植入销钉的数量越多, 选用钢筋的级别越高, 对提高界面黏结性能的作用越明显。

c. 大部分试件的破坏形态为两侧加固层均出现剥离, 只有少数为单侧剥离。

d. 过多的植入销钉会使得加固层在破坏时呈现裂缝增多趋势, 从而对黏结性能有削弱作用。

e. 卸载现象表明, 销钉有助于提高试件延性, 同时也说明销钉的存在使得界面黏结应力在受荷载时出现多次的应力重分布, 从而使得试件的黏结性能得到改善与提高。

f. 销钉因素对界面黏结性能影响的灰关联分析表明, 钢筋的级别对界面黏结性能的影响最大, 其次是植入销钉的数量, 再次是销钉的直径大小。在具体加固工程中, 为了增强界面黏结性能, 可以优先采用级别较高的钢筋, 在满足植筋间距和深度构造要求的前提下, 同时植入小直径且数量较多的销钉比植入大直径且数量少的销钉效果更明显。

参考文献:

- [1] PARAMASIVAM P, LIM C T E, GONG K C. Strengthening of RC beams with ferroceent laminates[J]. Cement and Concrete Composites, 1998(20): 53-65.
- [2] 毛晶晶. 新老混凝土界面黏结质量检验与黏结强度预测模型研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [3] 尚守平, 龙凌霄, 曾令宏. 销钉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.
- [4] 朱彦鹏, 刘辉, 王秀丽. 混凝土中植筋深度的理论与试验研究[J]. 建筑结构, 2006, 36(3): 14-16.
- [5] 张建荣, 石丽忠, 杨建华. 混凝土化学植筋锚固性能的试验研究[J]. 建筑结构, 2006, 36(3): 17-21.
- [6] 林丁未. 植筋技术与建筑结构胶在工程中的应用[J]. 福建建设科技, 2001(4): 13-14.
- [7] 邓聚龙. 灰色理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 3-5.
- [8] 徐志胜, 徐志良, 冯凯. 火灾后钢筋混凝土损伤程度的灰关联分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 23(3): 37-40.
- [9] 唐伟勤, 肖新平. 灰关联分析在复杂系统多层次评估中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 32(2): 288-290.
- [10] 刘晋寅, 吴孟达. 模糊理论及其应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1998: 168-171.

Contribution of pins to the interfacial bonding property of HPF-reinforced concrete specimens

BU Liang-tao, LUO Xing-hua, GAO Wei

(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The interfacial bonding property of concrete specimens reinforced with high performance ferrocement (HPF) was investigated through two-side shear tests, and the influence of the shear pins on the interfacial bonding property was studied. The results indicate that the pins can effectively enhance the interfacial bonding property and the shear resistance. The grey relational analysis of the influence of three factors on the bonding property shows that the most important factor is the type of steel bar, followed by the amount of pins, and, lastly, by the diameter of the pin.

Key words: pin; high performance ferrocement; concrete reinforcement; bonding property; grey relational analysis