

一种测试胶体与钢质基体间粘结剪切性能的新方法

全学友^{1a,1b}, 刘连杰^{1a}, 王仁燕^{1a}, 马松², 严勇³

(1. 重庆大学 a. 土木工程学院; b. 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400045;

2. 重庆市设计院, 重庆 400015; 3. 中国中铁八局集团第一工程有限公司, 重庆 400050)

摘要: 中国现行国家标准试验方法中的单层金属片搭接接头拉伸剪切试件, 由于粘结区剪应力分布极不均匀, 并在粘结面上产生很高的拉应力, 试验结果不能真实反映胶体与金属基体之间的粘结强度, 只能作为胶体质量的检验指标, 不能作为强度条件使用。该文采用的组合圆盘粘结试件用于胶层粘结剪切性能测试时, 胶层及结合面剪应力分布很均匀, 均匀系数可达 0.97 以上; 胶层端部引入圆弧面并对钢质基体进行倒角处理后, 粘结面正拉应力可以降低到 20 MPa 以下, 不致引起受拉破坏, 因此组合圆盘的测试结果能真实反映胶体与金属基体之间的粘结剪切强度或剪压复合强度, 可作为粘结构件承载力设计的强度条件使用。

关键词: 胶体; 钢质基体; 粘结剪切性能; 组合圆盘粘结试件

中图分类号: TU365 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2011)03-0031-07

A New Method for Measuring Bonding Shear Properties of Adhesives on Steel Substrates

QUAN Xue-you^{1a,b}, LIU Lian-jie^{1a}, WANG Ren-yan^{1a}, MA Song², YAN Yong³

(1a. College of Civil Engineering; 1b. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, Ministry of Education, Chongqing 400045, P. R. China;

2. Chongqing Architectural Design Institute, Chongqing 400015, P. R. China;

3. No. 1 Engineering Company of China Railway No. 8 Engineering Group Co., Ltd, Chongqing 400050, P. R. China)

Abstract: Single-lap-joint adhesively bonded metal specimen which is the national standard experimental method in use has an extremely non-uniform distribution of shear stresses along the joint, and tensile stress concentration of high values is produced on the steel substrate interfaces. Therefore the test result, which is not the real bonding shear strength between adhesive and steel substrates, can only be used as a test index for qualities of adhesives not the strength criterion for load is capacity evaluation. The combined bonding disc specimen is adopted for measuring bonding shear properties of adhesive on steel substrates, has a very uniform distribution of shear stresses in adhesive and along the bonding surfaces of steel substrates, of which the uniform coefficient is greater than 0.97. Furthermore, when adhesive joint is treated as an arc and steel substrates are chamfered at both ends of the joint, tensile stresses on the bonding surfaces can be reduced to less than 20 MPa which can hardly cause tensile failure. Thus, the results of combined bonding disc specimens can actually represent the real bonding shear strength or bonding shear-compression strength between adhesive and steel substrates, which can be used as strength criterion for load capacity evaluation of bonding members.

Key words: adhesive; steel substrates; bonding shear properties; combined bonding disc specimen

收稿日期: 2010-10-11

基金项目: 重庆市建设科技计划项目(200917); 重庆市交委计划项目(200968)

作者简介: 全学友(1963-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事结构工程加固与改造研究, (E-mail) quanxueyou@163.com。

FRP(纤维增强塑料)依靠与粘结胶的粘结强度,以及粘结胶与基体混凝土或基体金属之间的粘结强度,实现对混凝土结构或金属结构的加固增强。在 FRP 端部以及混凝土裂缝两侧的粘结界面存在高剪应力,使 FRP 与基体之间易于出现剥离破坏^[1-4]。碳纤维板端部外侧补充粘贴一块钢板,并采用锚栓穿过钢板后植入钢筋混凝土梁内,或将钢板压在梁端支座下^[5],可以推迟端部剥离破坏,提高梁的受弯承载力;为了在正常工作状态下利用碳纤维材料的高强度,必须对碳纤维材料进行预张拉,采用两块钢板涂胶后将碳纤维片材粘贴于其间,固化后即可作为张拉夹具使用^[6];预张拉的纤维复合材粘贴于钢筋混凝土受拉面后,在纤维复合材端部表面粘贴钢板并用锚栓固定于梁上,固化后可作为预应力纤维复合材的锚具使用^[6-7]。上述各种情况下,如要对端部锚固区域进行应力分析或锚固承载力设计,必然需要使用到胶体与钢质基体之间的粘结剪切强度或剪压复合强度,同时也需要胶体本身的应力-应变本构关系。

已经存在一些测试胶体与金属基体之间粘结强度的标准方法。薄层金属片构成的单层搭接接头^[8-9]和双层搭接接头^[10]试件广泛用于测试胶体与金属基体之间的粘结强度,但是由于胶层中的剪应力分布极不均匀,并且存在很高的拉应力,这种拉应力往往控制了接头的破坏,因此所获得的剪切强度只是一个表观剪切强度,只能用于胶体质量评定,不能作为剪切强度条件使用^[11]。

ASTM 标准试验方法^[12]认为厚层金属搭接接头区域的应力分布较为均匀,可以测试胶体与金属基体之间的粘结剪切强度,利用专门的位移测试系统可以获得胶体受剪应力-应变关系。

J. Y. Cognard^[13]与 P. Davies^[14]对改进的 Arcan 圆盘试验装置中胶体与厚层铝合金基体之间的粘结应力分布进行了精细的有限元分析,表明可在平直的粘合面上形成较为均匀的剪应力分布,并可以对粘结剪切强度和剪拉、剪压复合强度进行测试;利用专用的数码相机系统对胶层的变形图像进行处理,可以获得胶体在纯剪及复合应力状态下的应力-应变关系。

但是,ASTM 标准试验方法^[12]不能测试胶体与金属基体之间在压剪应力状态下的粘结强度,普通实验室难以直接测试薄层胶体的变形,因此有必要

发展一种在普通实验室中即可完成胶体与金属基体之间粘结性能测试的新方法。

1 组合圆盘试验方法的提出

在中国材料和结构实验室中,具有位移控制功能的伺服试验机系统已不鲜见。此处提出的新的试验方法就是利用伺服试验机的测力系统和内置位移测试系统,完成胶体与金属基体之间粘结剪切强度和剪压复合强度的测试,以及胶体本身在纯剪状态下以及剪压复合应力状态下的应力-应变关系的测试,基本原理如下:

根据 ASTM 标准^[12]测试胶体强度的原理,厚层金属搭接接头区域剪应力分布较为均匀,因此提出图 1 所示的钢质圆盘组合粘结石件,利用伺服试验机精确的测力系统,既可进行纯剪粘结强度试验(图 1(a)),也可完成剪压复合强度试验(图 1(b))。粘结石件是由金属完整圆盘经线切割加工而成,粘结胶布置在对称于直径的窄缝内,粘结胶长度中点与圆心重合。

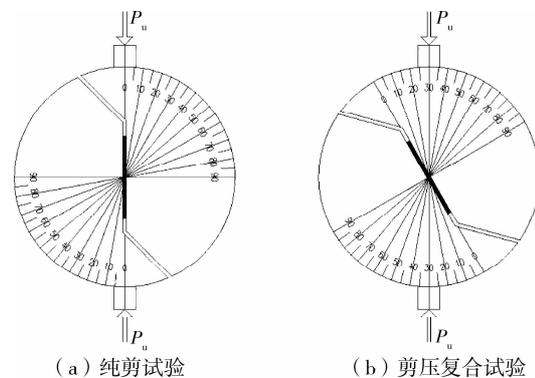


图 1 组合圆盘试验装置示意图

试验加载时,调整垫条中心线使压力通过组合圆盘中心。假定组合圆盘粘结石件在伺服试验机上的破坏压力测试值为 P_u ,则粘结面上的平均正压应力 σ_n 和与之对应的粘结剪切强度 τ_u 如式(1)、(2)所示:

$$\sigma_n = P_u \sin \alpha / A \quad (1)$$

$$\tau_u = P_u \cos \alpha / A \quad (2)$$

式中 A 和 α 分别为粘结面积和粘结面与压力之间的夹角($\leq 90^\circ$)。

由于篇幅所限,利用组合圆盘在伺服试验机上测试胶层剪切变形的的方法将在另文介绍。

2 纯剪受力条件下胶层的应力状态

2.1 胶层厚度的确定

作者设想组合圆盘不仅可以测试胶体与金属基体之间的粘结性能,也可以测试胶体本身的力学参数,还可用于测试碳纤维板层间受剪性能参数。考虑到碳纤维板较多使用 1.2 mm 厚规格,组合圆盘中胶层厚度按 1.3 mm 设计,以适应对碳纤维板的性能试验。

2.2 胶层长度两端面平直时的应力分布特性

为了掌握胶层及粘结面上的应力分布,采用弹性平面有限元方法对纯剪受力状态下的组合圆盘进行计算分析。计算模型如图 2(a)所示,胶层端面平直,见图 2(b);组合圆盘直径 80 mm,组合圆盘厚度 25 mm,粘结面长度 30 mm。计算参数取值为:钢质基体弹性模量 2.0×10^5 MPa,泊松比 0.2;胶体弹性模量 2 500 MPa,泊松比 0.2。按粘结面上平均剪应力为 14.0 MPa 计算,外加剪切荷载取值为 10.50 kN。

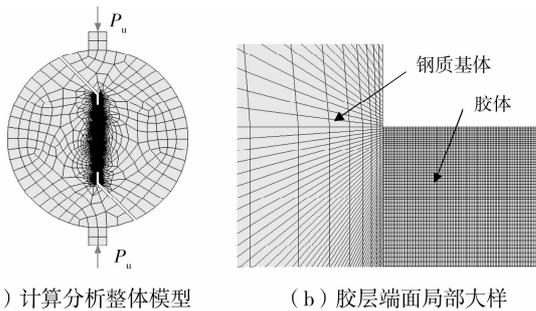


图 2 计算分析模型

采用 ANSYS 有限元分析程序对组合圆盘进行计算。为了确保计算精度,参考了其它研究文献的成果^[14],将胶层单元在厚度方向的尺度控制在 0.001 mm 左右,并取胶层单元长度不超过宽度的 10 倍。

图 3 为胶层厚度中心平面处沿粘结面长度方向的剪应力和正应力分布,由图可见剪应力分布已相当均匀,正应力绝对值也相当低。图 4 为粘结面上的剪应力和正应力分布,与中心平面相比较,粘结面靠近端部剪应力和正应力均出现峰值分布,拉应力甚至高达 111.6 MPa。

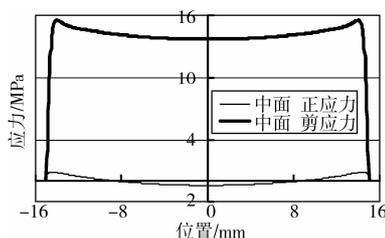


图 3 胶层中面剪应力和正应力分布

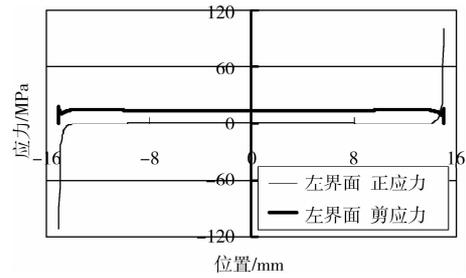


图 4 粘结面上的剪应力和正应力分布

为了评价胶层剪应力分布特性,引入剪应力均匀系数 k_e 和剪应力集中系数 k_s 。参看图 5,剪应力均匀系数 k_e 定义为剪应力分布曲线中位于平均剪应力线以下的实际应力分布面积 S_{shadow} 与平均剪应力分布矩形面积 S_{ABCD} 之比,而剪应力集中系数 k_s 定义为峰值剪应力 s_{max} 与平均剪应力 s_e 之比,即公式(3)、(4):

$$k_e = \frac{S_{\text{shadow}}}{S_{\text{ABCD}}} \quad (3)$$

$$k_s = \frac{s_{\text{max}}}{s_e} \quad (4)$$

显然,当剪应力均匀系数 $k_e = 1.0$ 时,表示分布长度范围内的剪应力完全相同,即绝对均匀,此时剪应力集中系数 $k_s = 1.0$ 。

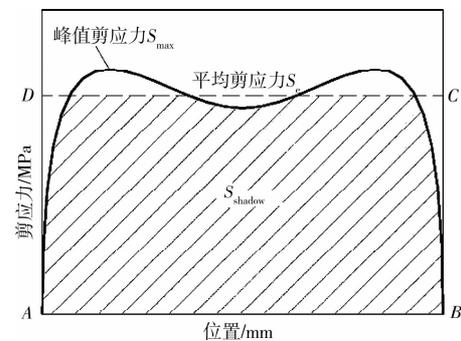


图 5 剪应力分布特征参考图

根据上述定义,图 3 所示的胶层厚度中心平面剪应力分布均匀系数为 0.979,剪应力集中系数为 1.110,表明胶层厚度中心平面的剪应力分布是相当均匀的,剪应力集中现象不明显;图 4 所示的粘结面剪应力分布均匀系数为 0.984,略优于中心平面,但由于靠近端部存在剪应力尖峰,剪应力分布集中系数为 1.321,略逊于胶层厚度中心平面。特别应该强调的是,由于粘结面端部出现高达 111.61 MPa 的拉应力,会导致粘结面受拉破坏,从而不能有效获得胶层与金属基体之间的粘结剪切强度,因此必须采取措施尽量降低粘结面上的拉应力。

2.3 胶层长度两端圆弧面的引入

为了精确控制粘结面的长度并期望改善粘结面端部应力集中现象,在胶层长度两端的金属基体上

设置圆孔构造,如图 6 所示。制作粘结件时,圆孔内插入蜡纸卷或符合规定尺寸的表面具有油脂涂层的塑料棍,可精确控制粘结面的长度,防止胶体外流,并使胶体固化后在两端形成圆弧面。有限元计算结果表明,在其它条件相同的情况下,引入圆孔后剪应力分布均匀系数基本不变,但粘结面的剪应力集中现象有所改善,正应力峰值显著降低。图 7 为圆孔直径 2.5 mm 时胶层中面上剪应力和正应力分布曲线;图 8 为粘结面上的剪应力和正应力分布曲线,此时粘结面上的最大正拉应力为 22.90 MPa,远低于胶层端面平直时的最大正拉应力 111.61 MPa。

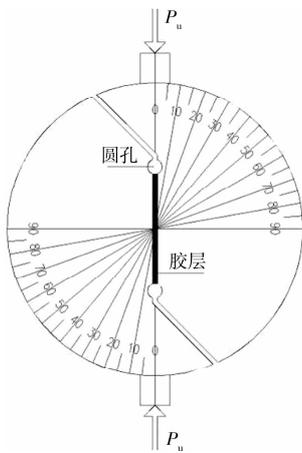


图 6 胶层端部引入圆孔构造

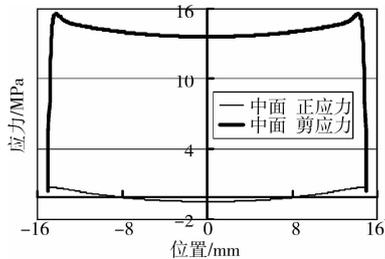


图 7 胶层中面剪应力和正应力分布

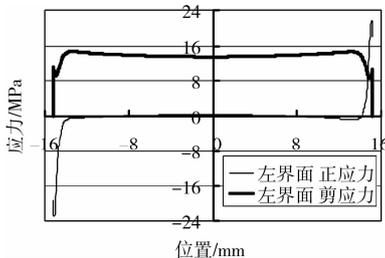


图 8 粘结面上的剪应力和正应力分布

2.4 圆孔的倒角处理

鉴于粘结面上的拉应力过大会导致粘结受拉破坏,使得试验结果不能有效反映粘结面的剪切受力特性,因此应采取措施尽可能降低胶层中的正应力。出于方便加工的考虑,并经试算后确定在胶层端部圆弧面过渡区附近的金属基体进行倒角处理,如图

9 所示。倒角自圆孔象限点起算,沿胶层长度方向的边长为 1.0 mm,沿胶层厚度方向的边长为 0.5 mm。图 10 为圆孔直径 2.5 mm 并经倒角处理后胶体厚度中面上的剪应力和正应力分布曲线,图 11 为粘结面上的剪应力和正应力分布曲线。与倒角前比较,剪应力均匀系数和应力集中系数基本不变,但粘结面上的正应力进一步降低,拉应力由倒角前的 22.90 MPa 降低为 17.02 MPa。现行加固设计规范^[15]对 A 级、B 级胶钢-钢正拉粘结强度规定分别不小于 33 MPa 和 25 MPa,因此可以认为前述倒角处理后的计算拉应力已不会导致粘结面发生正拉粘结破坏。

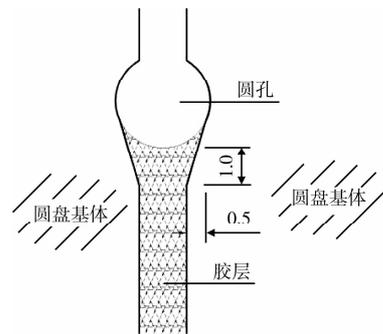


图 9 胶层端部金属基体倒角大样

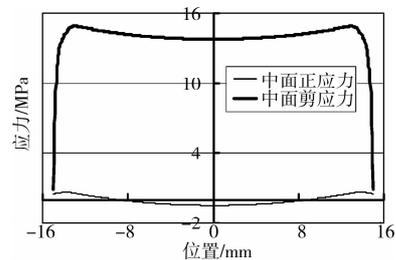


图 10 胶层中面剪应力和正应力分布

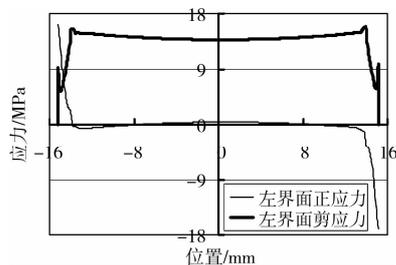


图 11 粘结面剪应力和正应力分布

3 剪压复合分析

圆盘绕圆心旋转一定角度后加压(图 12),便可使胶层处于剪压复合受力状态。以旋转 30°为例,外加荷载 P_0 以在剪切面上形成 14 MPa 的平均剪应力确定,其值为 $F=12.124$ kN,此时粘结面上的平均正压应力为 8.08 MPa。图 13、14 分别为胶层中面、粘结面上的剪应力和正应力分布图,由图可见,

此时胶层中面已不存在拉应力,剪应力和压应力分布都很均匀;粘结面上绝大部分长度上的正压应力分布很均匀,并接近平均压应力,端部拉应力降低至 11.64 MPa。

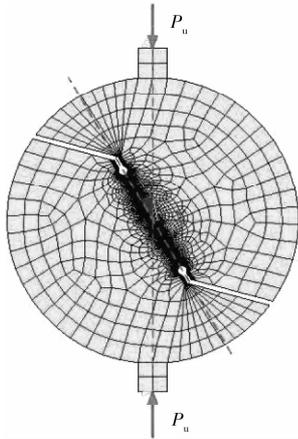


图 12 旋转角 30° 计算分析整体模型

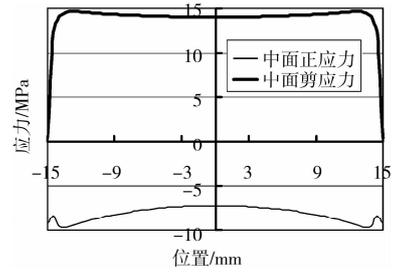


图 13 胶层中面剪应力和正应力分布

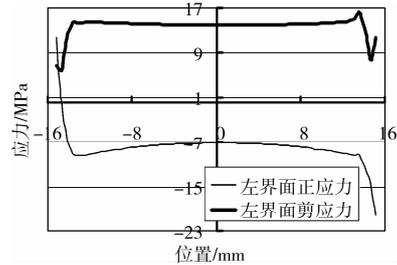


图 14 粘结面剪应力和正应力分布

表 1 不同端部边界条件下胶层应力分布特性

胶层端部条件		端面平直	端面圆孔直径 4.0 mm	端面圆孔直径 2.5 mm	端面圆孔直径 2.5 mm + 倒角	端面圆孔直径 2.5 mm + 倒角 + 30° 剪压
剪应力均匀系数 k_c	厚度中面	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97
	结合面	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97
剪应力集中系数 k_s	厚度中面	1.11	1.09	1.11	1.07	1.07
	结合面	1.32	1.19	1.07	1.15	1.16
最大拉应力/MPa	厚度中面	0.84	0.61	0.80	0.67	-7.20
	结合面	111.61	40.80	22.90	17.02	11.64
最大压应力/MPa	厚度中面	-0.43	-0.42	-0.44	-0.43	-9.71
	结合面	-101.45	-27.24	-21.69	-16.13	-20.11

选定不同的胶层端部边界条件进行有限元计算分析,可作出表 1 所示的数据表格。表中数据表明,组合圆盘粘结试件中,各种情况下胶层的剪应力分布相当均匀,均匀系数可达 0.97 以上,但粘结面上的正拉应力分布差异很大。当胶层端面平直时,粘结面端部存在很高的拉应力,完全可能使粘结面受拉破坏;当胶层端面引入圆弧面后,粘结面正拉应力显著降低,圆弧面直径越小,降低幅度越大;相同圆弧面直径情况下,胶层端部金属基体倒角处理能进一步降低粘结面上的正拉应力。

4 试验验证

为了验证组合圆盘粘结试件用于测试胶体抗剪性能的有效性,采用中国品牌“承华”胶的碳纤维布粘贴胶进行对比试验。该品牌胶为 A、B 组份胶,对比组采用一次调配的相同胶体。对比组包括:按中国国家标准^[8]制作的一组共 5 个薄层金属片单搭头

拉伸剪切试件(以下简称 A 组),端面圆孔直径 4 mm 的一组共 5 个组合圆盘粘结试件(以下简称 B 组),端面圆孔直径 2.5 mm + 倒角的一组共 5 个组合圆盘粘结试件(以下简称 C 组)。

B、C 两组组合圆盘各 5 个试件分别按 0°、10°、20°、30°、40° 进行试验,其中 0° 工况对应纯剪受力状态,其余工况对应剪压复合受力状态,图 15 为试验情景。



图 15 试验情况

试验结果表明,所有组合圆盘粘结试件的胶体均出现了剪切裂缝,最终均在粘结面破坏,胶体在两侧粘结面均有残留,如图 16 所示。

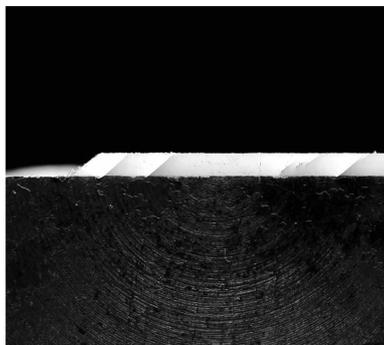


图 16 胶层破坏照片

根据破坏荷载和试件旋转角可以计算出粘结面上的平均剪应力和平均正压应力,图 17 为 B、C 两组组合圆盘粘结试件实测剪切强度与粘结面平均压应力之间的关系。

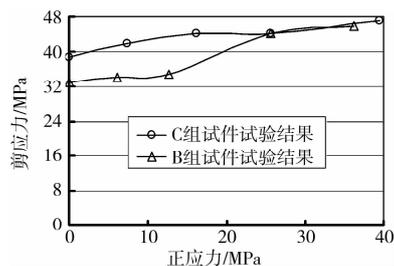


图 17 B、C 组试件剪切强度与粘结面平均压应力关系曲线

根据实测数据计算的 A 组薄层金属片单搭头试件平均剪切强度为 14.60 MPa。C 组组合圆盘粘结试件(倒角、圆孔径 2.5 mm)纯剪强度为 38.93 MPa,远高于按现行标准试验方法^[8]中单层搭接接头试件(A 组)所得的实测值,这显然是由于组合圆盘粘结面剪应力分布相当均匀,并且由于在粘结面端部引入圆弧面和倒角处理后,粘结面上消除了高的正拉应力,使胶体与金属基体之间的粘结剪切强度得以充分发挥。对比 B、C 两组试验结果可以看出,正压应力较小时 B 组抗剪强度低于 C 组,但当正压应力较大时两组试件的抗剪强度趋于一致。结合前述有限元计算分析结果可以看出,造成这一现象的主要原因在于,B 组胶层端部圆弧面直径较大,且未进行倒角处理,胶层粘结面端部的正拉应力高于 C 组相应位置正拉应力,造成试件提前破坏;当正压应力较大时,由于平均压应力部分抵消了粘结面端部的拉应力集中现象,使得 B、C 两组的试验结果逐步趋于一致。

实测结果还表明,随着压应力的增加,粘结抗剪强度相应提高,但提高幅度相当缓慢,本次实测最大压剪强度达 46.98 MPa(对应旋转角 40°)。

5 结 论

组合圆盘粘结试件能进行粘结接头的纯剪试验,也可方便地进行粘结接头的剪压复合受力试验。组合圆盘粘结试件中胶层的剪应力分布很均匀,适合用于胶体与金属基体间粘结剪切性能的测试。但是胶层端面平直时会在结合面上产生很高的正拉应力,造成胶体的剪切性能不能有效发挥。对胶层端面引入圆弧面,可显著改善胶层结合面的正拉应力集中现象,圆弧面直径越小改善效果越好。对引入圆弧面的胶层端部钢质基体进行倒角处理,可以进一步降低粘结面的正拉应力。根据算例,选定胶层厚度 1.3 mm,粘结胶层长度 30mm,胶层端面圆弧面直径 2.5 mm,金属基体在胶层端部倒角 1 mm(长度方向):0.5 mm(厚度方向)时,胶层与金属基体间正拉应力最大值可以低于 20 MPa,不致引起受拉破坏,保证剪切试验能有效测试出胶层的粘结剪切强度。采用样品胶体作出的实测结果证实了组合圆盘及上述细部构造对测试胶层剪切性能的有效性。

由于组合圆盘粘结试件胶层中剪应力分布均匀,通过在胶层端部引入圆弧面和进行倒角处理,可以将粘结面上的正拉应力降低到不致引起受拉破坏的水平,因此测试结果能很好地反映胶体与金属基体之间的粘结剪切强度或剪压复合强度,可作为粘结试件承载力设计的强度条件使用。

参考文献:

- [1] YAO J, TENG J G. Plate end debonding in FRP-plated RC beams—I: Experiments[J]. Engineering Structures, 2007, 29: 2457-2471.
- [2] YAO J, TENG J G. Plate end debonding in FRP-plated RC beams—II: Strength model[J]. Engineering Structures, 2007, 29: 2472-2486.
- [3] TENG J G, YUAN H, CHEN J F. FRP-to-concrete interfaces between two adjacent cracks: Theoretical model for debonding failure[J]. International Journal of Solids and Structures, 2006, 43: 5750-5778.
- [4] CHRISTOPHER K Y LEUNG. FRP debonding from a concrete substrate: Some recent findings against conventional belief[J]. Cement & Concrete Composites, 2006, 28: 742-748.
- [5] H N GARDENT, HOLLAWAY L C. An experimental

- study of the influence of plate end anchorage of carbon fiber composite plates used to strengthen reinforced concrete beams [J]. *Composite Structures*, 1998, 42: 175-188.
- [6] HESHAM DIAB, ZHISHEN WU, KENTARO IWASHITA. Short and long-term bond performance of prestressed FRP sheet anchorages [J]. *Engineering Structures*, 2009, 31: 1241-1249.
- [7] CARLO PELLEGRINO, CLAUDIO MODENA. Flexural strengthening of real-scale RC and PRC beams with end-anchored pretensioned FRP laminates [J]. *ACI Structural Journal*, 2009, 106: 319-328.
- [8] GB/T 7124—2008 胶粘剂拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)[S].
- [9] ASTM D 1002-05. Standard test method for apparent shear strength of single-lap-joint adhesively bonded metal specimens by tension loading (metal-to-metal)[S].
- [10] ASTM D 3528-96 (Reapproved 2008). Standard test method for strength properties of double lap shear adhesive joints by tension loading[S].
- [11] ASTM D 4896-01 (2008) e1. Guide for use of adhesive-bonded single lap-shear specimen test results[S].
- [12] ASTM D 5656-04 e1. Test method for thick-adherend metal lap-shear joints for determination of the stress-strain behavior of adhesives in shear by tension loading [S].
- [13] COGNARD J Y, DAVIES P, GINESTE B, et al. Development of an improved adhesive test method for composite assembly design[J]. *Composites Science and Technology*, 2005, 65: 359-368.
- [14] DAVIES P, SOSHIER L, COGNARD J Y, et al. Influence of adhesive bond line thickness on joint strength [J]. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 2009, 29: 724-736.
- [15] GB 50367-2006 混凝土结构加固设计规范[S].
- (编辑 王秀玲)

.....

(上接第 18 页)

- FANG XIAO-DAN, WEI HONG, CHEN FU-XI, et al. Structural research and design for the China National Pavilion at the World Expo Shanghai [J]. *Building structure*, 2009, 39(5): 84-89.
- [3] JGJ3-2002 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] GB 50011-2001 建筑抗震设计规范(2008 年版)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [5] ANSYS Version 10.0[S]. ANSYS Inc, 2007.
- [6] DGJ 08-9-2003 上海市《建筑抗震设计规程》[S].
- [7] KO D W, LEE H S. Shaking table tests on a high-rise RC building model having torsional eccentricity in soft lower storeys [J]. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2006(35): 1425-1451.
- [8] LU X L, ZHANG H Y, HU Z L, et al. Shaking table testing of a U-shaped plan building model[J]. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1999(26): 746-759.
- [9] LU X L, CHEN L Z, ZHOU Y, et al. Shaking table model tests on a complex high-rise building with two towers of different height connected by trusses[J]. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 2009 (18): 765-788.
- [10] SABNIS G M, HARRIS H G, WHITE R N, et al. *Structural modeling and experimental techniques* [M]. Prentice-Hall; Englewood Cliffs, NJ, 1983.
- [11] 吕西林. 复杂高层建筑结构抗震理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [12] 周颖, 卢文胜, 吕西林. 模拟地震振动台模型实用设计方法[J]. *结构工程师*, 2003(3): 30-33.
- ZHOU YING, LU WEN-SHENG, LU XI-LIN. Practical model design method of shaking table tests[J]. *Structural Engineers*, 2003(3): 30-33.
- (编辑 胡玲)