

文章编号:1671-8879(2009)02-0060-05

片材-混凝土界面粘贴性能试验

任 伟¹, 贺拴海¹, 栾好发²

(1. 长安大学 桥梁与隧道陕西省重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 吉林省公路勘测设计院, 吉林 长春 130021)

摘要:为了揭示片材加固混凝土结构中片材-混凝土界面剥离破坏机理,通过 12 对片材粘贴试验,对混凝土强度、混凝土表面处理工艺、粘贴数量及片材种类对粘贴效果的影响进行分析,研究了片材界面粘贴机理及破坏形式,得到片材-混凝土界面粘贴机理的内在规律。研究表明:混凝土表面处理对粘贴效果有较大影响;粘贴强度随粘贴纤维层数的增加呈非线性增长;片材强度利用率随粘贴纤维数量的增大有所降低;钢板与纤维相比粘贴效果较差。

关键词:桥梁工程;混凝土结构;加固;片材;粘贴

中图分类号:U445.72

文献标志码:A

Test on bonding performance of sheet-concrete interface

REN Wei¹, HE Shuan-hai¹, LUAN Hao-fa²

(1. Key Laboratory for Bridge and Tunnel of Shaanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Jilin Province of Institute Highway Survey and Design, Changchun 130021, Jilin, China)

Abstract: In order to disclose the destruction mechanism of sheet-concrete interface of concrete structure strengthened by sheets, the tests with 12 pairs of sheet bonded on concrete structures were performed to study the influence of some factors such as concrete strength, treatment craft, layer number and sheet type on the bonding effects, and the bonded mechanism and destruction shape were analyzed to find the inherent laws for bonding mechanism of sheet-concrete interface. The results show that the influence of concrete surface treatment craft on the bonding effects cannot be ignored; the bonding strength presents a non-linear increment with the increase of sheet layer numbers; there is a decrease for the utilization ratio of bonding strength with the increase of sheet layer numbers; the bonding effects of steel plates are worse than the ones of sheets. 3 tabs, 9 figs, 11 refs.

Key words: bridge engineering; concrete structure; strengthen; sheet; bonding

0 引 言

片材加固修复技术是用粘结剂将片材(纤维片材或钢板)牢固地粘贴于需要加固的桥梁结构、构件表面,并采取适当的锚固措施,使其与原结构共同受

力,提高结构承载能力,延长结构使用寿命。大量的试验研究结果表明,外贴片材对混凝土构件进行抗弯、抗剪加固时,常常发生片材与混凝土剥离破坏——脆性破坏。发生该类型破坏时,片材的应变往往处于较低水平。剥离破坏的产生造成材料浪

收稿日期:2008-04-15

基金项目:交通部规范资助项目(2005-5)

作者简介:任 伟(1975-),男,陕西西安人,讲师,工学博士,E-mail:Rw20062@163.com。

费,使加固的可靠性降低^[1-2]。此外,即使没有发生最终的界面粘贴破坏,由于片材与混凝土之间不能协调变形,出现滑移等不协调工作问题,导致混凝土裂缝的产生和扩展,会对加固结构强度、刚度和变形能力产生影响。

随着片材加固桥梁领域的研究不断深入,以及大量研究成果的取得,人们逐渐意识到片材-混凝土界面粘贴性能的重要性,已将片材加固混凝土结构的重点逐步转移到了界面粘贴性能的研究上,并且取得一定的研究成果^[3-6]。但是,这些研究成果还不甚成熟,还不能反映片材-混凝土界面粘贴性能的真实规律,如大多数推荐公式中片材材料利用率低于50%等。由于对剥离破坏的内在机理认识不够,到目前为止,中国相关规范对片材-混凝土界面行为的计算规定还处于空白状态^[7-9]。为此,本文作为编制《公路桥梁加固技术规范》中的片材加固方法的前期研究,通过12对片材粘贴试验,对不同混凝土强度、不同混凝土表面处理工艺、粘贴数量及不同粘贴材料对粘贴效果的影响进行了系统的分析研究,并对片材界面粘贴机理及破坏形态进行了细致的探讨。

1 粘贴试验

根据现有研究成果及本文试验,片材与混凝土粘结界面的破坏模式主要有以下4种:①混凝土保护层破坏(浅层混凝土破坏);②树脂与片材界面破坏,树脂完全粘在混凝土上;③树脂与混凝土界面破坏,树脂完全粘在片材上;④粘结胶层剪切破坏。

在以上4种界面破坏形式中,第④类主要是由于粘贴用胶强度不足所致,而目前加固工程的专用胶均有较高的强度,只要严格按照规程操作,一般不会发生该类破坏。所以,本文重点对第①~③类界面破坏形式进行研究^[10]。

由于粘贴片材加固混凝土结构的早期破坏(粘贴破坏)主要发生在结构开裂后,因此,裂缝附近片材的粘贴性能是粘贴研究的重点区域。根据图1所示的力学演化,本文确定应用纯剪切模型试验(双剪试验见图2)对片材-混凝土粘贴机理进行研究。图1、图2中: σ_{\max} 为最大应力; P 为外加荷载; L 为粘贴长度。

1.1 试验模型

本文粘贴试验模型采用I型钢(型钢)作为传力手段^[11],将混凝土浇注于两侧,试验模型见图3、图4。

1.2 试验方案

分析目前已有的试验研究,本文确定从以下几

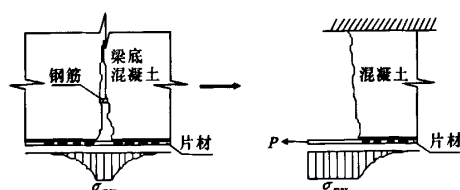


图1 受力机理

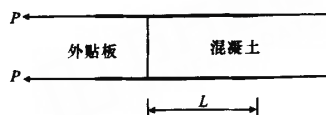
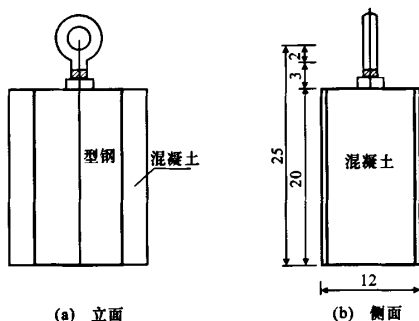
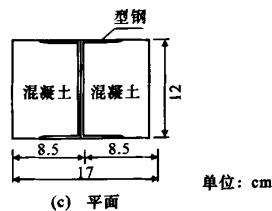


图2 双剪试验



(a) 立面

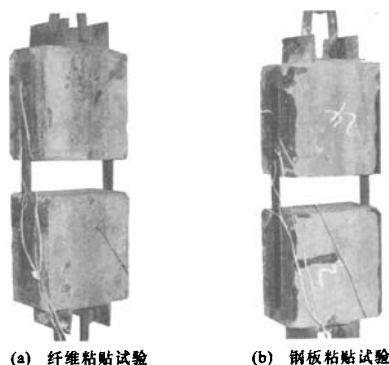
(b) 侧面



(c) 平面

单位: cm

图3 试验模型



(a) 纤维粘贴试验

(b) 钢板粘贴试验

图4 试验模型实体

方面进行试验研究:①混凝土强度对粘贴效果的影响(C25、C40);②混凝土表面处理工艺对粘贴效果的影响(打磨掉浮浆、凿毛);③片材层数对粘贴效果的影响(一层、二层纤维);④不同粘贴材料对粘贴效果的影响(纤维、钢板)。混凝土力学参数见表1,

表 1 中 E_c 为混凝土弹性模量;粘贴试验方案见表 2。

2 试验结果及分析

2.1 结果分析

表 3 给出了本文所作粘贴试验的结果。

表 1 混凝土力学参数

混凝土组号	立方体强度/MPa	轴心抗压强度/MPa	$E_c/10^4$ MPa
I	48.2	44.7	3.5
II	46.2	42.8	3.3
III	28.2	26.1	3.3

表 2 粘贴试验方案

试验 编号	混凝土 组号	片材							混凝土 表面处理
		片材种类	屈服应力/MPa	极限应力/MPa	弹性模量/MPa	粘贴长度/mm	厚度/mm	层数	
F-1-1	I	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	1	除浮浆
F-1-2	I	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	1	除浮浆
F-1-3	I	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	1	除浮浆
F-1-4	I	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	1	磨出骨料
F-1-5	I	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	1	磨出骨料
F-1-6	I	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	1	磨出骨料
F-2-1	III	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	2	磨出骨料
F-2-2	III	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	2	磨出骨料
F-2-3	III	碳纤维		3 450	235 000	150	0.13	2	磨出骨料
S-1-1	II	钢板	317.2	463.2	124 000	150	2	1	磨出骨料
S-1-2	II	钢板	317.2	463.2	124 000	150	2	1	磨出骨料
S-1-3	II	钢板	317.2	463.2	124 000	150	2	1	磨出骨料

注:碳纤维及钢板宽度均为 2 cm。

表 3 粘贴试验结果

试验 编号	混凝土 组号	破坏模式	破坏荷 载/kN	材料利用 率/%
F-1-1	I	粘贴破坏	3.62	26.90
F-1-2	I	粘贴破坏	6.50	48.31
F-1-3	I	粘贴破坏	5.50	40.88
F-1-4	I	纤维拉断	11.61	86.29
F-1-5	I	纤维拉断	9.67	71.87
F-1-6	I	纤维拉断	9.19	68.30
F-2-1	III	粘贴破坏	14.94	55.50
F-2-2	III	混凝土破坏/纤维层间破坏	18.30	68.00
F-2-3	III	粘贴破坏	15.70	58.30
S-1-1	II	粘贴破坏	9.03	47.45
S-1-2	II	粘贴破坏	8.50	44.66
S-1-3	II	粘贴破坏	8.10	42.56

从表 3 中可以看出:

(1)F-1-1~F-1-3(粘贴一层碳纤维,混凝土表面仅用砂纸将浮浆轻微打磨)与 F-1-4~F-1-6(粘贴一层碳纤维,混凝土表面用砂轮机打磨出骨料)相比,其极限荷载均偏小,纤维强度利用率最大仅为 48.31%。从破坏形式上看,F-1-1~F-1-3 均发生混凝土与胶层界面的粘贴破坏(混凝土表面砂浆被带下,图 5);而 F-1-4~F-1-6 均发生纤维拉断破坏(图 6)。

(2)F-1-4~F-1-6 与 F-2-1~F-2-3(粘贴两层碳纤维,混凝土表面用砂轮机打磨出骨料)相比,其破

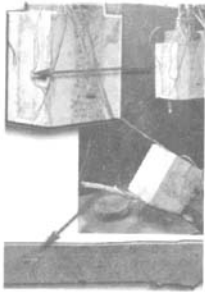


图 5 浮浆层破坏



图 6 一层纤维拉断破坏

坏形式均为片材拉断,而粘贴两层的试件出现了纤维层间剥离、浅层混凝土破损(图 7)及界面粘贴破坏现象(图 8);此外,粘贴两层的极限荷载均高于一层,但粘贴两层的材料利用率明显低于一层。

(3)S-1-1~S-1-3 为钢板粘贴试验,与粘贴纤维相比,其极限荷载均较低。分析其原因,主要是钢板与专用胶的接触面积远小于纤维类材料,易发生胶

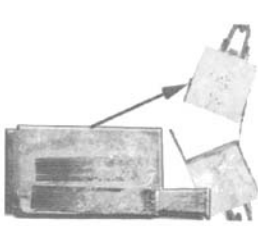


图 7 混凝土破损

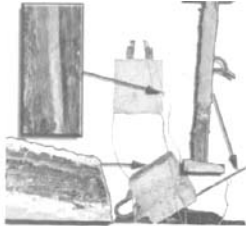


图 8 两层纤维粘贴破坏

层与钢板之间的截面剥离(图9)。

2.2 破坏形式及机理

图5~图9给出了本文部分试验破坏的典型形式,主要有:浮浆层破坏、片材拉断、粘贴胶层破坏及浅层混凝土破坏4类。

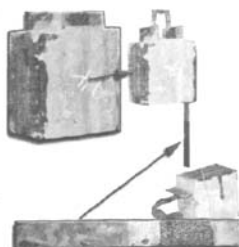


图9 钢板与粘贴层的界面破坏

(1) 浮浆层破坏。浮浆

层是混凝土浇注期间在结构表面形成的,由于其硬骨料含量小,水泥浆含量偏高,因此其强度明显低于整体混凝土强度。在粘贴片材加固时,如不打磨掉混凝土表面浮浆层,将明显影响片材的粘贴强度(表3、图5)。

(2) 片材拉断。片材拉断破坏主要与片材自身的力学性质有关,如材料强度、材料用量(片材厚度或层数)等。此外,对于纤维片材,由于其形成片材断面的每丝纤维受力不均匀,使每丝纤维不能同时达到其极限强度,也是造成片材拉断破坏的主要原因,而且该类原因造成的破坏多出现在湿粘法粘贴片材的加固中,如图6所示。另外,片材粘贴不当,如在转角处基层混凝土表面处理不当,造成片材应力集中,也是造成片材拉断破坏的主要原因之一。

(3) 粘贴层破坏。粘贴层破坏主要包括:①粘结胶层剪切破坏;②树脂与片材界面破坏,树脂完全粘在混凝土上,如图9所示;③树脂与混凝土界面破坏,树脂完全粘在片材上,如图8所示。导致以上破坏形式发生的主要原因有:粘贴用胶强度不足和粘贴锚固长度不足(如①);片材浸胶不足造成片材与胶的粘贴面积过小(如②);混凝土表面处理不当或待加固的结构具有较高的混凝土强度(如③)。

在粘贴层破坏之前,有效粘贴长度范围内承担了大部分荷载。在持续加载时,当剪应力达到限值时,粘贴层开始开胶滑移,直到片材从混凝土上完全剥离,在此过程中,荷载值始终维持在开胶滑移时的荷载值。因此,开胶滑移的荷载即为界面所能传递的极限值。

(4) 浅层混凝土破坏。粘贴片材对构件受拉区域的混凝土有纵向和横向的约束作用。当荷载达到一定水平时,首先在某薄弱截面处混凝土浅层产生一定的裂缝,使这种约束作用逐渐减弱,片材及其粘结的局部混凝土区域,实际上处于上述的荷载作用产生多向应力作用下的应力集中状态,主要有沿纤维布水平纵向的粘结应力、垂直于纤维布的竖向剪

应力及裂缝开展造成的竖向局部剥离应力等。随着荷载的增大,这种应力集中状态逐渐加剧,当某一个或几个应力的组合使混凝土中主应力达到或超过混凝土的抗拉(剪)强度时,片材从某一裂缝处开始与混凝土分离,逐渐向两侧发展,最终导致破坏,如图7所示。

混凝土强度是该类破坏最主要的影响因素。在粘结剂可靠时,粘结强度随混凝土强度增加而增加,见表3。混凝土强度越低,越容易发生剥离。对于在役混凝土桥梁,由于老化、钢筋锈蚀等原因,表面浅层部分混凝土中已存在纵向和横向的细微裂缝,强度较低,更容易发生该类型的破坏。

片材与混凝土之间的剥离破坏是一种具有不确定性、受许多因素影响的破坏现象。它的破坏形式受混凝土强度、混凝土表面处理工艺、片材力学性质及数量、片材抗拉刚度与胶层剪切刚度、粘贴长度与锚固方式、宽度比等诸多因素的制约。除以上几种主要影响因素外,施工质量、受载历史、保护层厚度、主梁底缘配筋对截面的消弱也有一定的影响。

3 结 语

(1) 混凝土表面处理对粘贴效果影响较大,打磨出骨料对提高粘贴效果明显(尤其对于低标号混凝土);粘贴强度随粘贴纤维层数的增大而提高,但并非线性增长,其影响因素较多,主要有胶层强度、有效粘贴长度及混凝土强度等;片材强度利用率随粘贴纤维数量的增大而降低;钢板与纤维相比粘贴效果较差。

(2) 混凝土强度、粘贴长度与锚固方式、宽度比、片材抗拉刚度与胶层剪切刚度比对粘贴效果的影响显著。

(3) 片材-混凝土界面破坏形式受混凝土强度、混凝土表面处理工艺、片材力学性质及数量、片材抗拉刚度与胶层剪切刚度、粘贴长度与锚固方式和宽度比等诸多因素的制约。

参考文献:

References:

- [1] 贺拴海,任伟,赵小星.碳纤维布对具有初应力的钢筋混凝土梁抗剪加固试验[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(1):34-39.

HE Shuan-hai, REN Wei, ZHAO Xiao-xing. Experiments of shear capacity of RC beam bridges rehabilitated with CFRP under loading case[J]. Journal of

- Chang'an University, Natural Science Edition, 2004, 24(1):34-39.
- [2] 贺拴海,赵小星,宋一凡,等.具有初荷载的钢筋混凝土梁桥粘贴碳纤维布加固试验研究[J].土木工程学报,2005,38(3):70-76.
HE Shuan-hai,ZHAO Xiao-xing,SONG Yi-fan,et al. An experimental study on research of reinforced concrete beam bridges rehabilitated with CFRP laminates under loading and unloading conditions[J]. China Civil Engineering Journal,2005,38(3):70-76.
- [3] 任伟,赵煜,栾好发.钢板加固持荷 RC 梁承载力数值分析方法[J].交通运输工程学报,2007,7(6):96-100.
REN Wei,ZHAO Yu,LUAN Hao-fa. Numerical method of bearing capacity for preloaded RC beam strengthened by bonded steel plates[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2007,7(6):96-100.
- [4] 任伟,贺拴海,赵小星,等.黏贴钢板加固持荷钢筋混凝土 T 型梁模型试验[J].中国公路学报,2008,21(3):64-68.
REN Wei,HE Shuan-hai,ZHAO Xiao-xing,et al. Model test on preloaded RC T-beam strengthened by bonded steel plates[J]. China Journal of Highway and Transport,2008,21(3):64-68.
- [5] Chen J F,Teng J G. Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete[J]. Journal of Structural Engineering,2001,127(7):784-791.
- [6] 卜良桃,宋力,施楚贤.碳纤维板加固钢筋混凝土梁的抗弯试验和理论研究[J].建筑结构学报,2007,28(1):72-79.
BU Liang-tao,SONG Li,SHI Chu-xian. Experimental and theoretical study on flexural behavior of RC beams strengthened with carbon fiber plates (CFP) [J]. Journal of Building Structures,2007,28(1):72-79.
- [7] 武同乐,徐岳.公路旧桥加固效果综合评价方法[J].交通运输工程学报,2005,5(1):28-32.
WU Tong-le,XU Yue. Comprehensive evaluation method of bridge strengthening effectiveness [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2005,5(1):28-32.
- [8] CECS 146:2003,碳纤维片材加固修复混凝土结构技术规程[S].
- [9] GB 50367—2006,混凝土结构加固设计规范[S].
- [10] 高轩能,周期源,陈明华.粘钢加固 RC 梁承载性能的理论 and 试验研究[J].土木工程学报,2006,39(8):38-44.
GAO Xuan-neng,ZHOU Qi-yuan,CHEN Ming-hua. Theoretical and experimental research on bearing behavior of RC beams strengthened by bonded steel plates[J]. China Civil Engineering Journal,2006,39(8):38-44.
- [11] 李德寅.结构模型实验[M].北京:科学出版社,1996.
-
- (上接第 59 页)
- [4] BS 871—1981,砂纸和砂布规范[S].
- [5] Jose L D R. Fluctuating lift and its span-wise correlation on a circular cylinder in a smooth and in a turbulent flow; a critical review[J]. Journal of Wind Engineer and Industrial Aerodynamics,1992,40(2):179-198.
- [6] 李加武,林志兴,项海帆.桥梁断面三分力系数的雷诺数效应[J].同济大学学报:自然科学版,2004,32(10):1328-1333.
LI Jia-wu,LIN Zhi-xing,XIANG Hai-fan. Reynolds number effect of mean force coefficient of two kinds of typical bridge deck section[J]. Journal of Tongji University, Natural Science,2004,32(10):1328-1333.
- [7] 刘健新.桥梁对风反应中的涡激振动及制振[J].中国公路学报,1995,8(2):74-79.
LIU Jian-xin. Vortex-induced vibration and its control in responses of bridge to wind[J]. China Journal of Highway and Transport,1995,8(2):74-79.
- [8] 周立,葛耀君.上海长江大桥桥节段模型气动三分力试验[J].中国公路学报,2007,20(5):48-53.
ZHOU Li,GE Yao-jun. Experiment on three-component of aerodynamic force of sectional model for Shanghai Yangtze river bridge[J]. China Journal of Highway and Transport,2007,20(5):48-53.
- [9] 胡庆安,乔云强,刘健新,等.斜风作用下桥塔施工阶段抖振性能[J].交通运输工程学报,2008,8(2):40-43.
HU Qing-an,QIAO Yun-qiang,LIU Jian-Xin,et al. Buffeting performance of bridge tower under yawed wind during construction[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2008,8(2):40-43.
- [10] 王铁成.空气动力学实验技术[M].北京:航空工业出版社,1995.