

纤维陶粒混凝土与普通混凝土粘结性能实验研究

刘安庆, 汪一鸣, 王建民*, 黄 静, 柳俊哲

(宁波大学 建筑工程与环境学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 通过对聚丙烯腈纤维陶粒混凝土与普通混凝土 Z 型试件和立方体抗拉试件的加载实验, 研究结合面的处理方式、混凝土强度、浇筑时间间隔对 2 种混凝土粘结性能的影响规律. 结果表明: 用露骨料水洗剂处理结合面可省时省力地提高结合面的粗糙度、Z 型试件的抗剪强度; 对结合面的抗拉强度而言, 露骨料水洗剂界面虽然对陶粒混凝土与 C40 混凝土结合面的抗拉强度有提高作用, 却降低了与 C30 混凝土结合面的抗拉强度; 在先浇混凝土终凝结束后, 缩短 2 种混凝土先后浇筑时间间隔、提高后浇混凝土强度对结合面粘结强度有提高作用.

关键词: 粘结性能; 聚丙烯腈纤维; 陶粒混凝土; Z 型直剪试件

中图分类号: TU502

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2016) 04-0092-04

预制叠合结构构件由于两阶段制作和二次受力, 使其兼有现浇结构和装配式结构的优点, 具有整体性能好、工业化程度高、可机械化施工特点^[1]. 但预制叠合结构构件对施工水平要求较高, 跨度较长、自重较大的预制构件不仅对吊车吨位有特殊的要求, 施工质量也较难控制. 鉴于混凝土材料在结构中以承受压力为主, 如果结构构件非受压区混凝土可替换为自重轻、绿色环保的纤维陶粒混凝土^[2], 不仅可有效抑制混凝土内部微裂纹的生成和发展, 还可以有效减轻结构构件自重, 而且有利于混凝土材料后期抗拉强度的增长和混凝土结构的安全性和耐久性^[3-4].

2 种不同类型混凝土材料叠合后, 因材料本构关系存在较大差异, 2 种混凝土的干缩变形与温度变形等变化的不协调会在结合面处产生附加拉应力与剪应力^[5]. 因此, 研究 2 种混凝土粘结性能及综合反映构件受力变形下的性能, 是陶粒混凝土与普通混凝土先后浇筑后能否共同工作的基础. 本文通过相关实验研究, 将结合面的处理方式、混凝土强度、先后浇筑时间间隔作为分析其粘结性能变化的变量, 比较分析了先浇筑 PANF-陶粒混凝土部分, 再浇筑普通混凝土部分的 Z 型抗剪试件和

立方体劈裂抗拉试件的粘结性能及变化规律.

1 实验方案

1.1 材料及配合比

粗骨料: (1)宁波远扬新型建材科技有限公司的椭圆型淤泥质高强陶粒, 堆积密度 $976 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 筒压强度 11.0 MPa ; (2)石子: $5 \sim 25 \text{ mm}$ 连续级配石灰岩碎石, 堆积密度 $1323 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. 聚丙烯腈纤维 (PANF): 郑州禹建纤维有限公司生产的聚丙烯腈纤维, 直径 $27 \mu\text{m}$, 长度 6 mm , 抗拉强度 $\geq 440 \text{ MPa}$, 熔点为 $235 \sim 245 \text{ }^{\circ}\text{C}$. 混凝土露骨料水洗剂: 深圳市现代营造科技有限公司生产“砼的”牌露骨料水洗剂(涂刷型). 其他材料: 水泥为海螺牌 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥(普通 C30 混凝土采用 P·O 32.5); 细骨料采用中砂, 其细度模数为 2.75; 粉煤灰采用宁波镇海发电厂生产的 I 级粉煤灰.

实验设计的先浇 PANF-陶粒混凝土强度等级为 LC30, 后浇部分普通混凝土强度等级分为 C30 和 C40; PANF 纤维掺入量为 $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. 考虑陶粒粗骨料可吸水性, 参照文献[6]实验方法, 将 PANF-陶粒混凝土的用水量分为附加用水和净用水的配合比设计方法进行实验, 附加用水根据其吸水率

收稿日期: 2015-12-14.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51278255); 宁波大学学科项目(XKL14D2074); 宁波大学教研项目(JYXMXBYB201520).

第一作者: 刘安庆(1991-), 男, 山东潍坊人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 防灾减灾工程及防护工程. E-mail: 504407974@qq.com

*通信作者: 王建民(1974-), 男, 山西运城人, 副教授, 主要研究方向: 结构抗震与防灾减灾. E-mail: wangjianmin@nbu.edu.cn

表 1 实验配合比

组别	纤维/(kg·m ⁻³)	陶粒或石子/(kg·m ⁻³)	砂/(kg·m ⁻³)	水泥/(kg·m ⁻³)	水/(kg·m ⁻³)	粉煤灰/(kg·m ⁻³)	28 d 强度/MPa
LC30	1	820 ¹⁾	510	440	175	80	39.6 ³⁾
C30	0	1 150 ²⁾	520	340	185	80	34.8
C40	0	1 150 ²⁾	610	340	175	80	47.1

注: 1)陶粒; 2)石子; 3)PANF 对陶粒混凝土的抗压强度有增强作用, 见文献[7].

确定, 实验前对陶粒进行预湿, 保证其饱和面干. 具体配合比和强度指标见表 1.

1.2 结合面处理方案

目前为止, 对 2 种混凝土结合面的粗糙度处理国内外尚无具体的规范或规程要求, 在新老混凝土界面处理上, 多采用人工凿毛法、高压水枪法、喷砂法以及植筋法等^[8]. 考虑到与新老混凝土实验的差异性, 本文实验采用混凝土露骨料水洗剂处理法和人工凿毛法界面处理方法, 处理后的界面情况如图 1 所示, 界面粗糙度由灌沙法测定, 平均灌沙深度 2.8~3.2mm.



图 1 露骨料剂(左)和凿毛法(右)处理界面对比

1.3 试件制作、加载

2 种混凝土的直剪实验采用 Z 型试件, 抗拉实验采用立方体试件(图 2 及图 3, 图中单位 mm). 直剪试件 8 组, 抗拉试件 8 组, 抗压试块 12 组(仅作为强度测试试件), 每组试件各 3 个. 考虑到混凝土终凝时间不得迟于 10 h 的规范要求和预制构件运输对强度的限制, 同时预制构件需要留出对结合面处理的时间, 所以先后浇筑的时间间隔选择在先浇筑纤维陶粒混凝土终凝结束后的短时期内, 分别是 24 h 和 48 h, 具体浇筑时间和顺序见表 2.

表 2 浇筑时间及顺序安排

先浇部分	后浇时间间隔		界面处理方式
	24 h	48 h	
LC30	C30	C40	凿毛
	C40	C30	
	C30	C40	露骨料水洗剂
	C40	C30	

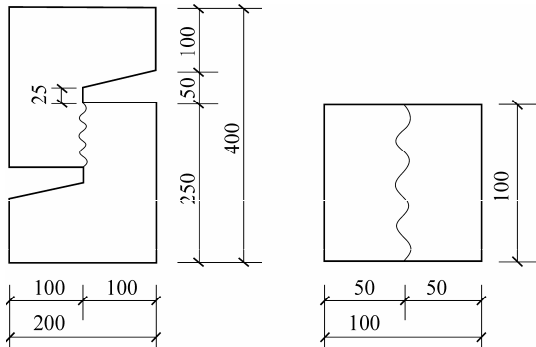


图 2 Z 形抗剪试件 图 3 立方体劈裂试件

在后浇普通混凝土前, 对界面处理完成的 PANF-陶粒混凝土试件用水冲洗, 并用气枪吹去表面残留的骨料残渣, 使界面表面可明显看到均匀分布的 PANF 纤维, 待饱和面干后再浇筑普通混凝土. 试件制备后在标准条件下养护 28 d, 再静置于室内自然条件下 1 d 后进行实验. 尽管实验模型的加载方式无附加力偶, 理论上是纯剪, 但实际实验情况是该模型在加载逐渐变大时, 实验机的上下加载面不再保持为平行, 会形成附加的弯矩. 当达到临界破坏时, 该附加弯矩为最大^[9]. 因此加载实验时, 考虑到 PANF 对混凝土抗拉强度的提高, 将 PANF-陶粒混凝土试件置于普通混凝土试件上方.

2 实验结果及分析

2.1 试件破坏形态

2 种混凝土 Z 型粘结试件剪切破坏断面最终均从结合面错裂, 所有直剪试件都呈脆性破坏, 试件从开裂到破坏的时间极短, 并伴有明显的“嘭嘭”声. 试件均从结合面破坏, 但略有不同. 凿毛面(图 4(a)): 普通混凝土的水泥浆体包裹在 PANF-陶粒混凝土的突出骨料上, 由于剪应力作用, 二者被剪开, 破坏面较为平直, 与新老混凝土结合面破坏形态类似^[5]. 露骨料水洗剂处理面(图 4(b)): 由于结合面经过水洗剂处理, 骨料裸露完整且明显, 破坏面沿粗骨料与水泥浆体的结合面破坏明显, 而普

通混凝土破坏界面有明显的粗骨料水泥浆凹坑,完全从陶粒表面剥离。



(a) 人工凿毛处理 (b) 露骨料水洗剂处理

图4 Z形试件剪切破坏断面

2种混凝土的劈裂抗拉实验整体破坏特征也表现为从结合面断裂(图5)。破坏时,上部为明显开裂破坏,下部边缘出现压溃破坏。凿毛面试件陶粒骨料破碎更加明显,说明两种混凝土的结合面是一个薄弱面。



(a) 人工凿毛处理 (b) 露骨料水洗剂处理

图5 立方体劈裂抗拉破坏断面

2.2 实验结果分析

直剪破坏时,抗剪强度按照 $\tau = V/A$ 进行计算, τ 为抗剪强度, V 为剪切破坏荷载, A 为结合面面积。实验最大剪力均以结合面产生明显裂缝时的荷载为极限荷载。实验测得在不同参数影响下,2种混凝土粘结试件抗剪、抗拉强度差异较大,最小抗剪强度仅2.24 MPa,最大抗剪强度4.5 MPa;最小抗拉强度仅2.73 MPa,最大抗拉强度4.81 MPa。

2.3 抗剪试件粘结强度分析

粘结界面处理方式对Z型试件抗剪强度的影响实验结果见表3。分析可得,用露骨料水洗剂处理的结合面抗剪强度比凿毛面平均提高约12.8%。露骨料水洗剂的物理和化学作用可夺去混凝土中的水分或包裹住水泥颗粒,使水泥无法水化凝结而变成松散状态,待混凝土达到一定强度后,用清水冲洗构件表面形成露出混凝土原始级配纹理的粗糙面,这使混凝土表面级配天然,提高了界面的机械咬合力和范德华力,不会造成混凝土损伤。浇筑时间间隔长短对Z型试件抗剪强度也会有影响,C30混凝土的结合面抗剪强度平均提高了32.5%,而C40混凝土的结合面抗剪强度仅提高了12.4%,

说明缩短2种混凝土先后浇筑时间间隔对结合面粘结强度有提高作用,但对C30混凝土的抗剪强度影响相对较明显。

表3 Z型试件直剪强度比较 MPa

粘结方式	24 h		48 h	
	C30	C40	C30	C40
凿毛面	3.12	4.37	2.24	3.88
露骨料剂面	3.62	4.50	2.88	4.01

考虑后浇混凝土强度对结合面粘结性能影响时,根据相同的结合面处理形式,混凝土强度对凿毛面平均提高了56.5%,对露骨料水洗剂结合面平均提高了31.5%。虽然提高后浇混凝土强度对凿毛面抗剪强度提高较多,但其抗剪强度值仍低于相同混凝土强度等级下露骨料水洗剂处理面的粘结强度值。可见选用C40混凝土,同时用露骨料水洗剂对结合面进行处理,更有利于结合面抗剪强度的提高和稳定。

综合分析各因素的相互交叉影响可知,提高后浇混凝土强度、在先浇陶粒混凝土终凝结束后的短时期内尽快后浇混凝土、用露骨料水洗剂处理结合面可有效提高2种混凝土的粘结抗剪性能。提高后浇混凝土强度,用露骨料水洗剂对结合面进行处理,更能有效保证结合面粘结抗剪性能。

2.4 抗拉试件粘结强度分析

在界面处理方式一致的前提下,抗拉试件的粘结强度变化与Z型试件类似,实验结果见表4。其中对露骨料水洗剂处理界面,粘结强度随着混凝土强度的提高而增强,根据先后浇筑时间的不同分别提高34.4%和62.6%。在先浇筑陶粒混凝土终凝结束后,缩短先后浇筑时间间隔,露骨料水洗剂的增强效果越明显。但是提高后浇混凝土的强度对2种混凝土粘结劈裂抗拉性能的影响与Z型试件略有不同。对于后浇C30混凝土,露骨料水洗剂处理的结合面粘结强度比凿毛面略微偏低;而后浇C40混凝土的劈裂抗拉强度则高于后浇C30。2种混凝土粘结抗拉破坏的抵抗力主要是混凝土中浆体与骨料间的机械咬合力和浆体与细颗粒之间、水泥石中的晶体之间的范德华力,化学作用力存在的几率较小。而在二次浇筑混凝土时有粘性的水泥浆渗透到原混凝土表面的空隙中,硬化后2种混凝土互相交错抱合而形成一定粘结强度^[10]。因

C30 混凝土的粘结强度要小于 C40 混凝土,当结合面凿毛处理时, C30 混凝土依靠 2 种混凝土细骨料间粘结强度大于水泥浆体与粗骨料间的咬合力(即露骨料水洗剂处理时);但 C40 混凝土水泥标号的提升,使水泥浆体与粗骨料之间的咬合力增大,超过仅靠细骨料之间的粘结强度,与实验结果一致。

表 4 抗拉试件粘结强度比较 MPa

粘结界面	24 h		48 h	
	C30	C40	C30	C40
凿毛面	3.94	4.44	3.48	3.65
露骨料剂面	3.58	4.81	2.73	4.44

3 结论

(1)对于 Z 型试件的直剪强度,提高后浇混凝土强度、在先浇陶粒混凝土终凝结束后较短时间间隔内,叠浇普通混凝土、用露骨料水洗剂处理结合面可以有效提高 2 种混凝土粘结抗剪性能。

(2)提高后浇混凝土强度,用露骨料水洗剂处理结合面,不仅省时省力地提高结合面的粗糙度,更能保证结合面抗剪强度提高的质量和稳定,而且不会对结合面附近的混凝土产生扰动。

(3)在先浇陶粒混凝土终凝结束后,短期间隔内叠浇普通混凝土、提高后浇混凝土强度可有效提高 2 种混凝土粘结抗拉性能。但对露骨料水洗剂界面处理的抗拉试件,由于粗细骨料特殊的粘结机

理,后浇 C30 混凝土的粘结抗拉强度低于凿毛面处理方式。

参考文献:

- [1] 孙冰. 预应力轻骨料混凝土组合板的实验研究及数值模拟[D]. 衡阳: 南华大学, 2005.
- [2] 李怀玉, 刘军, 戴辉自, 等. 轻骨料混凝土在绿色建筑中的应用探讨——以某铂金级绿色建筑为例[J]. 重庆建筑, 2013, 12(9):38-40.
- [3] 韩嵘, 赵顺波, 曲福来. 钢纤维混凝土抗拉性能实验研究[J]. 土木工程学报, 2006, 39(11):63-67.
- [4] 姚武, 李杰, 周钟鸣. 聚丙烯纤维对混凝土抗拉强度的影响[J]. 混凝土, 2001, 10:40-43.
- [5] 郭进军, 王少波, 张雷顺, 等. 新老混凝土粘结的剪切性能实验研究[J]. 建筑结构, 2002, 32(8):43-45; 62.
- [6] 王磊, 陈意燃, 尹争卓, 等. 再生混凝土与普通混凝土叠合梁抗剪性能[J]. 兰州理工大学学报, 2012, 38(6): 129-133.
- [7] 吴晓斌, 曾志兴. 钢纤维陶粒混凝土碳化深度实验研究[J]. 混凝土, 2009(9):79-82.
- [8] 闫国新, 张雷顺. 新老混凝土粘结面粗糙度处理方法综述[J]. 混凝土, 2007(8):98-100.
- [9] 钱邦永, 梅明荣, 盛维高, 等. 新旧混凝土结合 Z 型粘结试件的模型研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2015(2):43-45.
- [10] 管大庆, 陈章洪, 石韞珠. 界面处理对新老混凝土粘结性能的影响[J]. 混凝土, 1994(5):16-22.

Experiment on the Bonding Performance of Fibred Ceramsite Aggregate Concrete and Normal Concrete

LIU An-qing, WANG Yi-ming, WANG Jian-min*, HUANG Jing, LIU Jun-zhe

(Faculty of Architectural, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The influence of the surface treatment, the concrete strength and the time spacing for depositing concrete were studied by means of the loading test on the Z type and the cubic tensile specimens between the lightweight aggregate concrete within polyacrylonitrile fiber mixing and the normal concrete. The experimental results show that, with the combining surface being dealt with the concrete washing reagent, the roughness and the bonding shear strength are handily improved; Concrete washing reagent can heighten the bonding strength in C40 concrete, but weaken the bonding strength of C30 concrete in tensile strength of the joint surface. After the final condensation of the first pouring concrete, reducing two kinds of concrete pouring time and improving the strength of second concrete are found helpful to reinforce the strength of the joint surface.

Key words: bonding performance; polyacrylonitrile fiber; lightweight aggregate concrete; Z type specimen

(责任编辑 章践立)