

文章编号:1005-0523(2018)04-0039-08

再生钢管混凝土柱黏结滑移性能试验研究

薛晓楠¹, 袁政杰²

(1. 南昌县公安消防大队, 江西 南昌 330008; 2. 华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:为了探讨再生钢管大骨料混凝土柱的黏结滑移性能,设计8根钢管再生大骨料混凝土柱,并对其进行推出试验,试验主要研究了取代率及界面黏结长度两个因素与初始黏结强度和极限黏结强度的关系,得到相应黏结滑移曲线。结果表明:再生钢管大骨料混凝土柱的应力-滑移曲线主要经历了三个阶段,即无滑移阶段、上升阶段和下降阶段,加载端、中部及自由端全过程应力-滑移曲线具有相似性;取代率在一定范围内(0~40%),极限黏结强度随着取代率的增大而增大,在取代率为40%时达到最大,初始粘强度随着取代率的增大有所增大,但增大幅度不大,得到再生大骨料的最优取代率约为40%;黏结界面长度在一定范围内(400~700 mm),初滑移黏结强度随着黏结界面长度的增加有所增加,但增幅不大,约为0.001 MPa,而极限黏结强度随着黏结界面长度的增加有下降趋势。

关键词:再生钢管大骨料混凝土柱;推出试验;取代率;黏结界面长度;黏结滑移

中图分类号: TU528

文献标志码: A

随着城市建设的大力发展,建筑面积不断增长,建筑垃圾日益增多,发展再生混凝土技术有利于节约资源,保护环境,已成为工程材料研究的热点^[1-3]。然而再生混凝土与普通混凝土相比,具有孔隙率高,表观密度低,吸水率高,内在微裂纹多,强度低等特点,导致其抗冻性弱,耐久性差,吸水性高^[4-7]。从而限制了其在工业建筑中的应用,为了克服这些不足,国内外学者提出钢管再生混凝土的概念,将废弃的混凝土制备成再生骨料浇筑到钢管中形成钢管再生混凝土,利用钢管混凝土变形性能强,承载力高,耐久性好等优点,改善再生混凝土的力学性能。目前,对于钢管再生混凝土的受力性能,国内外学者已进行了初步研究^[8-10]。再生骨料与钢管之间的黏结性能是至关重要,这主要取决于钢管与再生混凝土之间的界面黏结性能。国内已有一些学者对钢管再生混凝土的界面黏结性能进行了相关研究,并取得一些成果^[11-14]。陈宗平,等^[15]从混凝土强度、温度、锚固长度等三方面对17根方钢管高强混凝土构件进行了高温后静力推动试验,分析了各参数对黏结强度的影响,并提出黏结滑移本构关系,结果表明,加载端和自由端的荷载-滑移曲线形状相似,界面黏结强度随着混凝土强度的提高而增大,随着温度的升高而降低,且与锚固长度成反比。徐金俊,等^[16]通过取代率、混凝土强度等级及长径比等三个参数,设计了15根圆钢管再生混凝土试件并对其进行推出试验,从而研究圆钢管再生混凝土界面黏结的失效机理,并采用多种计算模型对构件的黏结强度进行对比。研究表明:界面黏结损伤的发展随再生粗骨料取代率的增加而提前;界面埋置长度的增加有利于其黏结滑移能量耗散。Chen Z, Xu^[17]用完成服役50年的混凝土作为再生粗骨料的来源,从截面形状、再生粗骨料置换率、混凝土强度等级、长径比和界面嵌入长度出发,设计了25个再生混凝土填充钢管RACFST短柱试件进行推出试验,结果表明:初始滑移发展缓慢;随着置换率的增加,圆形试件的粘强度有一定程度的波动,而方形试件的粘强度略有增加;混凝土强度等级的提高有利于其极限强度的提高;随着长径比的增加,RACFST的粘强度会有所降低。但对于简单破碎后的大骨料都未作进一步研究,本文制作了8根钢管再生大骨

收稿日期:2017-10-26

作者简介:薛晓楠(1977—),女,硕士,研究方向为土木工程,消防。

料混凝土试件,并对其进行推出试验,从而探究取代率和黏结截面长度等参数对钢管再生大骨料的混凝土黏结滑移性能。

1 试验概况

1.1 试验材料及参数

为了探究取代率和黏结截面长度等参数对钢管再生大骨料混凝土的黏结滑移性能,本文制作了8根钢管再生大骨料混凝土柱,试验采用破损的钢筋混凝土梁作为再生大骨料来源。钢管再生大骨料混凝土柱的参数为其取代率(0,30%,40%,50%,60%)和钢管与再生大骨料混凝土的黏结界面长度(试件高度为400,500,600,700 mm 下端留置50 mm的空隙,以留出滑移空间),试件参数见表1。钢管采用的是Q235钢材,直径140 mm,壁厚4 mm;考虑到钢管尺寸及施工方便,取再生骨料的粒径为40 mm。本试验再生混凝土水灰比为0.4,质量配合比为水泥:水:砂:碎石=569.8:187:488.1:1 134.8。浇筑时每组预留3个标准立方体试块,设计混凝土强度为C40。

表1 试件参数
Tab.1 Parameters of test specimens

试件编号	f_{cu} /MPa	黏结界面长度/L	取代率/ ρ	τ_s /MPa	τ_u /MPa	P_s /kN	P_u /kN
RCFLC-1	49.4	400	0%	0.046	0.77	8.67	143
RCFLC-2	46.7	400	30%	0.047	0.92	8.91	171
RCFLC-3	50.4	400	40%	0.048	1.14	9.05	213
RCFLC-4	46.5	400	50%	0.049	0.85	9.16	160
RCFLC-5	38.1	400	60%	0.036	0.93	6.91	175
RCFLC-6	48.7	500	40%	0.048	1.01	12.1	251
RCFLC-7	48.7	600	40%	0.049	0.86	15.31	269
RCFLC-8	49.1	700	40%	0.049	0.74	17.26	264

注:表中 f_{cu} 为立方体抗压强度,为黏结界面长度; ρ 为取代率; τ_s 为初始滑移黏结强度; τ_u 为极限滑移黏结强度; P_s 为初始滑移荷载; P_u 为极限滑移黏结荷载。

1.2 测量方案

为测量钢管与再生大骨料混凝土之间的相对滑移,在钢管壁上开小孔预埋一根短钢筋,试件加载端和固定端并布置百分表测量试件加载端、中部及自由端的相对滑移量,试件相应开孔位置见图1。

为测量核心混凝土与钢管的相对滑移,只需要测量短钢筋与钢管的相对滑移即可。则加载端、中部及自由端的相对滑移量均可通过安置在短钢筋上的百分表测得。采集时间间隔为3 s,百分表的布置如图2所示。

1.3 试验设计

推出试验和推离试验是当前研究钢管混凝土黏结性能试验的两个主要方法。推出试验表现为一端是混凝土受压,另一端为钢管受压,试验时试件一端留有空钢管,另一端放置一块直径略小于钢管的刚性垫块。推离试验是试件的下端钢管与和混凝土同时受压,上端钢管受压,用电阻应变片测量横纵向应变,加以对比,推出粘应力的大小及分布。一般来说,推离试验更接近于试件受力的真实情况,但是推出试验可以得出钢管混凝土粘滑移全过程,确定抗剪粘强度,是钢管混凝土黏结性能试验研究的常用方法。

本文试验采用推出试验法,试验在华东交通大学结构实验室500 t压力机上进行,采用图3所示试验加载装置进行钢管大骨料混凝土柱的推出试验,加载速度为0.002 kN/s。加载过程中,将预留部分作为自由端,

另一端为加载端,并将刚性垫块置于加载端核心混凝土上,在试验过程中通过直径略小于钢管的刚性垫块把荷载传递给混凝土,从而把核心混凝土推出。

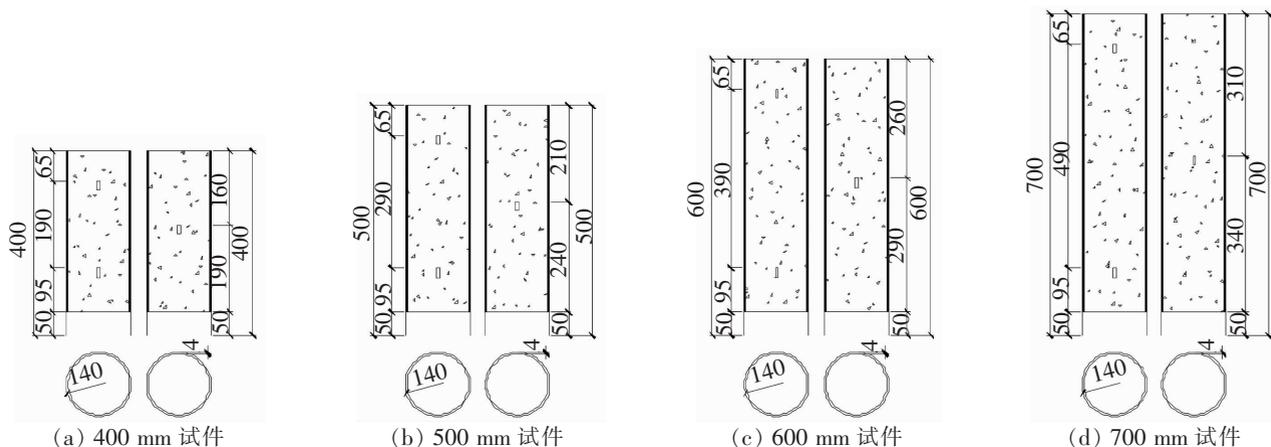


图 1 试件开孔位置 (mm)
Fig.1 The hole position of the specimens (mm)

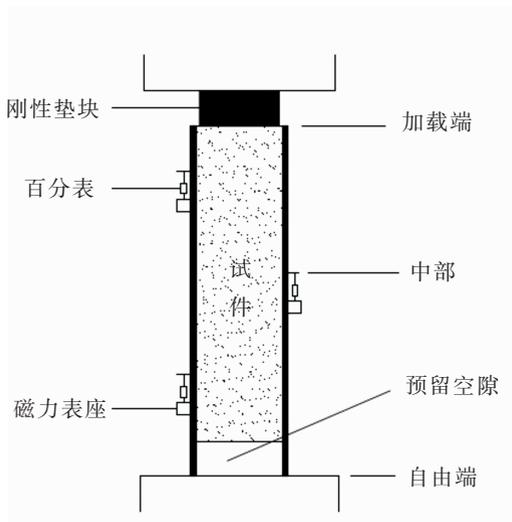


图 2 试验加载装置示意图
Fig.2 Schematic diagram of test loading device of test



图 3 试验加载装置
Fig.3 Loading device of test

2 试验结果

2.1 试验分析

加载初期,由于荷载较小,钢管与再生混凝土大骨料的相对滑移也较小,随着荷载的继续增大,在加载端开始出现相对滑移,此时的荷载值还是很小。随着荷载持续增加,试件中部和自由端出现轻微滑移,但增长速率较慢,同时两端滑移量有较大差别。当荷载加至极限黏结荷载的 90%时,听到试件中传出较大摩擦声,随后荷载继续增加达到峰值。此后,滑移量加快增长,同时试件的相对滑移几乎保持一致,荷载平缓下降。

2.2 黏结应力-滑移曲线($\tau-s$)

通过试验所得数据,获得 $P-s$ 曲线,假定黏结应力沿钢管长度方向均匀分布,根据 $\tau=P/A$ (其中 P 为推出荷载, A 为钢管与混凝土的接触面积),可得黏结应力 τ 与滑移量 s 的关系曲线,即 $\tau-s$ 曲线。如图 4 所示。

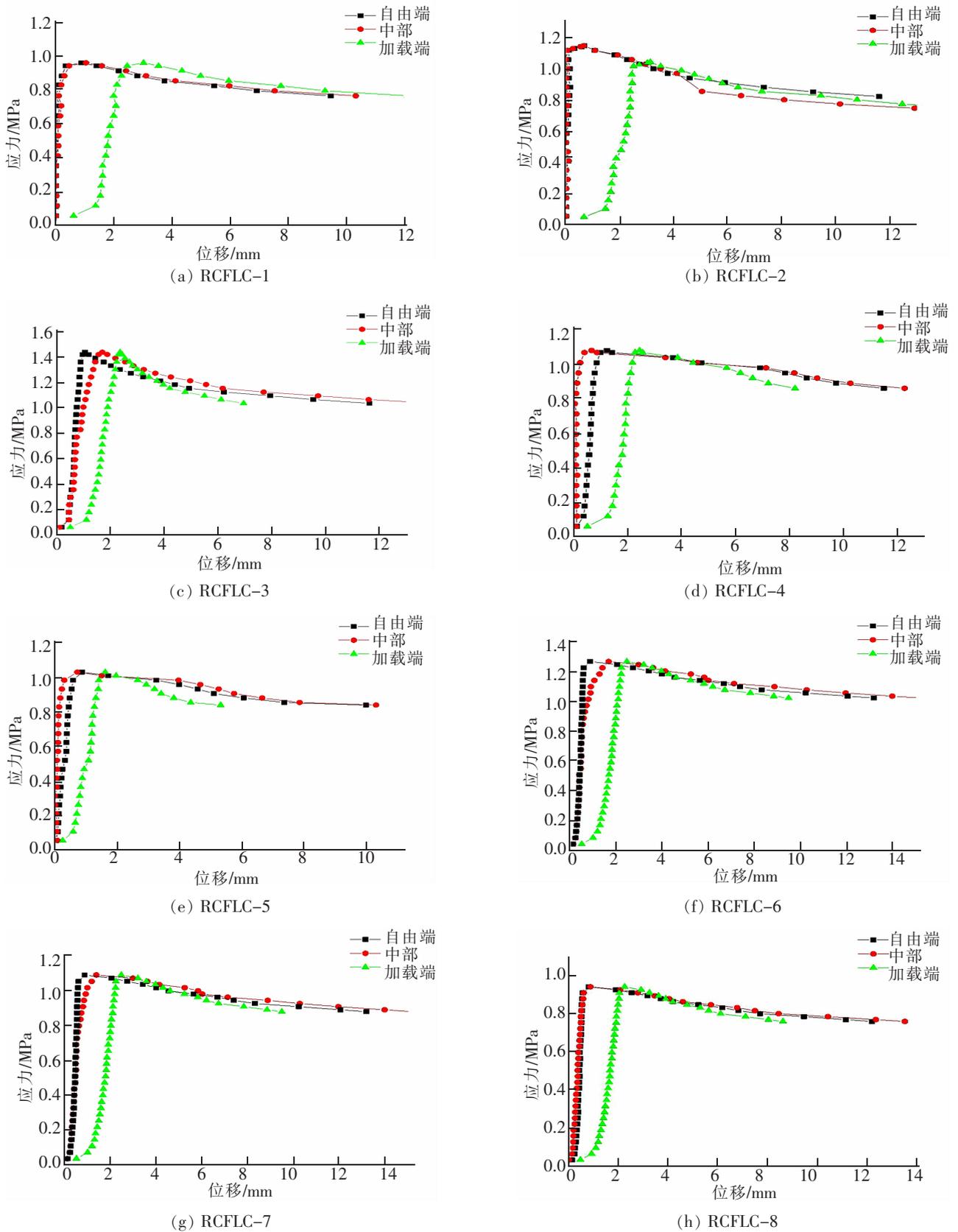


图4 试件 τ - s 曲线

Fig.4 The τ - s curve of specimens

从图4中应力-滑移曲线可以看出,所有曲线的规律大致相似,其中试件中部和自由端的曲线基本重合,试件加载端在加载初期存在一个较小的初始位移;在加载过程中曲线的上升段,试件的加载端,中部和自由端的滑移增量基本一致,3条曲线峰点所对应的应力基本一致,加载端滑移量较大;下降段曲线最终趋于一致。因中部和自由端的滑移曲线基本一致,则可取相同的特征曲线来代表本试验8根试件,如图5(a)所示,加载端的应力-滑移特征曲线如图5(b)所示。

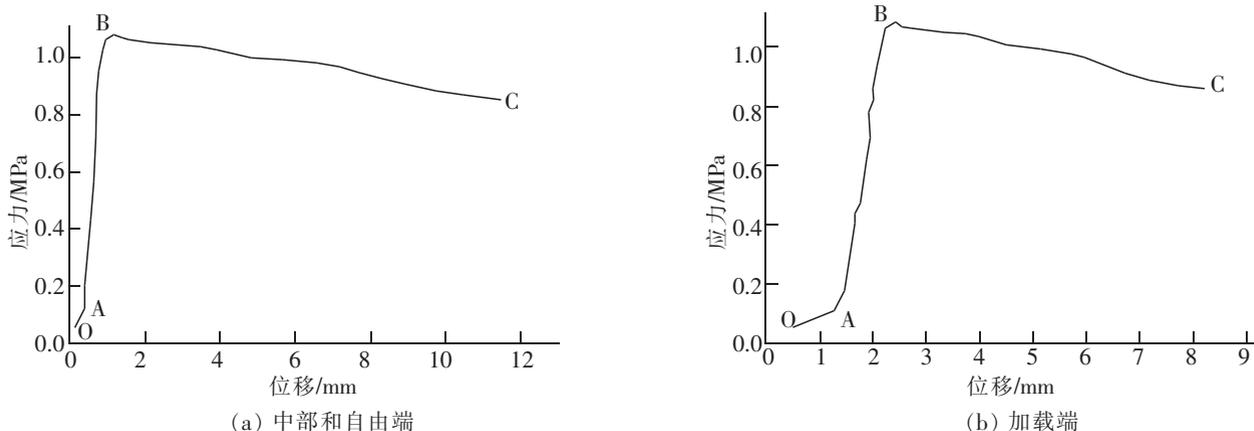


图5 τ - s 特征曲线示意图

Fig.5 τ - s curve diagram

由图4,图5可知,钢管再生大骨料混凝土加载端,中部及自由端的 τ - s 曲线大致分为三个阶段:无黏结滑移阶段,上升阶段,下降阶段。

第一阶段:OA段。加载初期,加载端核心混凝土先受到轴力的作用,核心混凝土在荷载作用下自身发生弹性变形而产生位移,因此加载端在加载初期有一个较小的初始位移。由于核心混凝土与钢管表面黏结力的作用,在试件中部和自由端均不存在相对滑移。随着荷载的不断增大,加载端开始出现滑移,此时对应的应力称为初始黏结强度,此阶段为无黏结滑移阶段。

第二阶段:AB段。随着荷载的不断增大,钢管与混凝土之间的相对滑移也逐渐增大,加载端的滑移量始终大于中部和自由端。荷载继续增大,直至钢管与混凝土之间的摩擦力达到峰值,此时的摩擦力主要由胶结力和机械咬合力提供,对应的应力为极限黏结强度,此阶段为上升阶段。

第三阶段:BC段。随着荷载的继续增大,机械胶合力和化学胶结力丧失,混凝土与钢管之间黏结力开始主要由两者之间的摩擦力提供,滑移量快速增长,黏结滑移曲线呈下降趋势,荷载继续增大,随后曲线趋向平缓,此阶段称为应力下降阶段。

3 取代率及界面黏结长度对黏结强度的影响

3.1 取代率

本试验主要研究了取代率在0,30%,40%,50%,60%情况下对试件初始黏结强度及极限黏结强度的影响,如图6,图7所示。

1) 初始黏结滑移强度。由图6可以看出,随着取代率的增加,在取代率在0~60%范围内,试件1,2,3,4,5的初滑黏结强度先缓慢上升再急剧下降,在0~50%范围内,初始黏结强度不断增大,但增大幅度不大,由0.052 MPa增加到0.056 MPa,在接近50%时试件的初始黏结强度达到最大,取代率在50%~60%范围内,初始黏结强度下降坡度突然增大,由0.056 MPa下降到0.042 MPa,由此可见,当取代率小于50%时,取代率对初滑黏结强度的影响不大。

2) 极限黏结滑移强度。由图7可以看出,随着取代率的增加,试件1,2,3,4,5的极限黏结强度有所波

动,且波幅较大。在取代率 0~40%范围内,极限黏结强度不断增大,在取代率为 40%时达到最大,在 40%~60%范围内,极限黏结强度逐渐降低,当取代率达到 60%时极限黏结强度下降到 0.932 MPa,但仍高于取代率为 0 时的极限黏结强度,约为 0.874 MPa。由此可见取代率对极限黏结强度的影响较大。

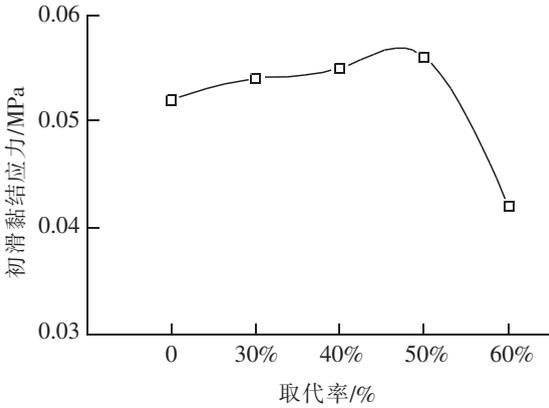


图 6 初始黏结强度与取代率的关系

Fig.6 The relationship between the initial bond strength and the replacement rate

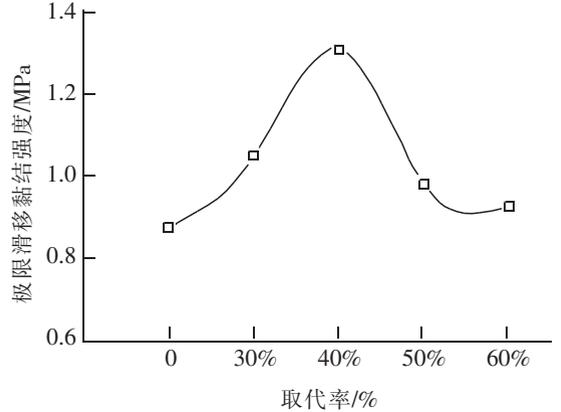


图 7 极限黏结强度与取代率的关系

Fig.7 The relationship between the ultimate slip bond strength and the replacement rate

3.2 黏结界面长度

1) 初始黏结滑移强度。从图 8 可以看出,编号为 3,6,7,8 的试件随着黏结界面长度的增加初滑移黏结强度有所增加,但增幅不大,约为 0.001 MPa,因此,黏结界面长度并不是影响初始黏结滑移强度最主要的因素。

2) 极限黏结滑移强度。从图 9 可以看出,编号为 3,6,7,8 的试件随着黏结界面长度的增加极限滑移黏结强度有下降趋势。当黏结界面长度为 400 mm 时极限黏结强度最大,约为 1.303 MPa;当黏结界面长度为 700 mm 时极限黏结强度最小,约为 0.85 MPa。这表明黏结界面长度对极限黏结强度影响较大。

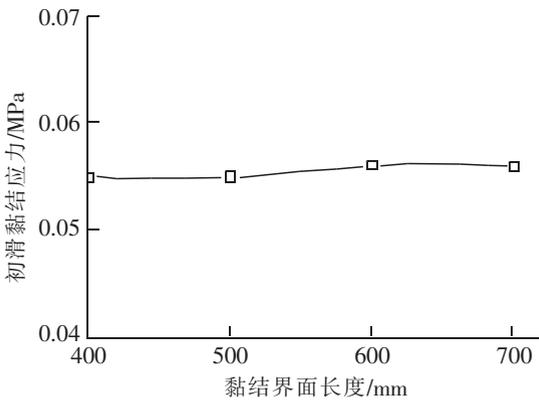


图 8 黏结界面长度对初滑黏结强度的影响

Fig.8 Effect of bond interface length on initial bond strength

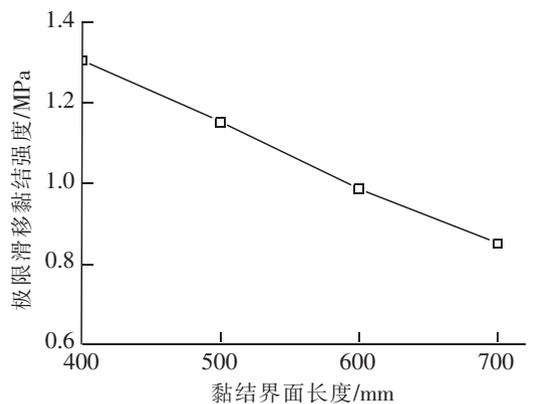


图 9 黏结界面长度对极限滑移黏结强度的影响

Fig.9 Influence of bonding interface length on ultimate bond strength

通过上述分析可知,对于黏结长度较小的试件,其极限黏结强度大于黏结界面长度较大的试件,而初滑移黏结强度几乎不受黏结界面长度大小的影响。究其原因在于,黏结力沿着界面长度方向传递,在无滑移阶段,黏结力主要由钢管与核心混凝土之间的化学胶结力提供,且此阶段的化学胶结力非常小,各试件在单位长度上承担的界面剪力都很小,几乎相等;在应力上升阶段,黏结力由钢管与核心混凝土之间的化学胶结力及两者之间的机械咬合力提供,黏结界面长度较小的试件在单位长度上承担了更多的界面剪力,因此出现

上述结果。另外,由于黏结应力沿钢管长度方向特别是端部附近并非均匀分布,而是呈曲线分布的,与本文的假定黏结应力均匀分布有一定的误差,因此在一定的范围内,黏结界面长度对极限粘结强度的影响较大。

4 结语

1) 钢管再生大骨料混凝土的 τ - s 曲线与普通混凝土相似,主要由无滑移阶段、急剧上升阶段、缓慢下降阶段三个阶段组成,其中试件中部和自由端的 τ - s 曲线具有相似性。

2) 取代率在 0~50% 范围内,初始黏结强度不断增大,但增大幅度不大,在 50%~60% 范围内,初始黏结强度突然下降,且下降坡度相对较大。

3) 骨料取代率对极限黏结强度的影响较大,在取代率 0~40% 范围内,极限黏结强度随着取代率的增大而增大,在取代率为 40% 时达到最大,随后极限黏结强度逐渐降低。综合考虑初滑黏结强度和极限黏结强度,取代率为 40% 时两种强度值均较高,预测再生大骨料的最优取代率约为 40%。

4) 黏结界面长度并不是影响初始黏结滑移强度最主要的因素,但对极限黏结强度有较大影响,随着黏结界面长度的增加极限滑移黏结强度有下降趋势。

参考文献:

- [1] 李雯霞,张雄,刘昕. 再生混凝土中再生骨料取代率、浆含量、表观密度和吸水率的关系探讨[J]. 混凝土,2009(10):60-63.
- [2] 龚先兵,刘朝晖,李九苏. 道路再生骨料混凝土耐久性试验研究[J]. 中外公路,2009,29(3):200-204.
- [3] 毛添钿,熊国繁,肖慧莎. 再生混凝土的耐久性能研究[J]. 山西建筑,2009,35(9):164-165.
- [4] 张雷顺,王娟,黄秋风,等. 再生混凝土抗冻耐久性试验研究[J]. 工业建筑,2005,35(9):64-66.
- [5] 冯嘉,李秋义,宋菁,等. 再生粗骨料混凝土抗冻性试验研究[J]. 青岛理工大学学报,2011,32(4):44-48.
- [6] 陈德玉,刘来宝,严云,等. 不同因素对再生骨料混凝土抗冻性的影响[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(5):54-58.
- [7] 阮雪琴,赵全振. 再生混凝土耐久性与界面结构性质研究[J]. 工业建筑,2012,42(S1):577-586.
- [8] 赵丽颖. 替代率对再生钢管混凝土力学性能研究[J]. 低温建筑技术,2013(4):13-15.
- [9] 刘铁翔,查晓雄. 再生混凝土的改性及其在钢管混凝土中应用的试验研究[J]. 建筑钢结构进展,2011,13(1):36-42.
- [10] 周静海,苏明,孟宪宏,等. 再生自密实钢管混凝土轴压短柱试验[J]. 沈阳建筑大学学报,2011,27(2):266-271.
- [11] 衷政杰. 钢管再生大骨料混凝土轴压力学性能及黏结滑移研究[D]. 南昌:华东交通大学,2014.
- [12] 许开成,黄财林,陈梦成. 钢管内壁粗糙程度对钢管混凝土界面黏结性能的影响研究[J]. 建筑结构学报,2013,34(s1):420-424.
- [13] 陈宗平,徐金俊,郑华海. 钢-再生混凝土界面黏结机制及强度计算方法[J]. 应用基础与工程科学学报,2014(2):350-363.
- [14] YIN X, LU X. Study on push-out test and bond stress-slip relationship of circular concrete filled steel tube[J]. Steel & Composite Structures, 2010, 10(4):317-329.
- [15] 陈宗平,刘祥,徐金俊,等. 高温后方钢管高强混凝土界面黏结性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2017,38(6):133-143.
- [16] 徐金俊,陈宗平,薛建阳,等. 圆钢管再生混凝土截面黏结失效的推出试验研究[J]. 建筑结构学报,2013,34(7):148-157.
- [17] CHEN Z, XU. Push-out test on the interface bond-slip behavior and calculation on bond strength between steel tube and recycled aggregate concrete in RACFST structures[J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46(3):49-58.

Experimental Research on the Bond Slip Behavior of Recycled Concrete-Filled Steel Tubular Column

Xue Xiaonan¹, Zhong Zhengjie²

(1.Nanchang County Public Security Fire Brigade, Nanchang 330008, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: To study the bond-slip performance of recycled aggregate concrete steel pipe column, eight large-scale aggregate concrete columns were designed and push tests were also carried out, which mainly studied the relationship between replacement rate as well as bond interface length and initial bond strength as well as ultimate bond strength. Then, the corresponding bond slip curve was obtained. The research results show that the stress-slip curve of the reinforced aggregate concrete column has three stages, namely, non-slipping stage, rising stage and descending stage. The stress-slip curves of the whole loading end, the middle and the free end share similarities. While the replacement rate is at a certain range (0~40%), the ultimate bond strength increases with the increase of replacement rate and reaches the maximum when the replacement rate is at 40%; the initial bond strength increases with the replacement rate, but the increase rate is not large. The optimal replacement rate of obtained large aggregates is about 40%. While the bonding interface length is at a certain range (400~700 mm), the initial slip bond strength increases with the bonding interface length, but the increase rate is not large, about 0.001 Mpa, but the ultimate bond strength decreases with the increase of bond interface length.

Key words: recycled aggregate concrete steel pipe column; push test; replacement rate; bond interface length; bond slip