

型钢再生混凝土梁的抗弯性能试验研究

吴平川,谢露露,李园园,赵守利
(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

摘要:为了充分了解型钢再生混凝土梁的破坏特征,对4组型钢再生混凝土梁进行抗弯静载试验,了解型钢再生混凝土梁从开始加载直至破坏各个阶段的受力特点和变形特征,分析不同粗骨料取代率和钢筋配箍率对其受力性能的影响。研究表明,取代率不同对型钢再生混凝土梁的极限承载力的影响甚微,配箍率对型钢混凝土梁的裂缝间距及裂缝发展有一定影响,型钢再生混凝土梁截面基本符合平截面假定。

关键词:型钢再生混凝土;抗弯性能;取代率;配箍率

中图分类号:TU398.9

文献标识码:A

Test research on bending performance of steel - recycled concrete beam

WU Ping - chuan, XIE Lu - lu, LI Yuan - yuan, ZHAO Shou - li

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: In order to understand fully the failure mode of steel - recycled concrete beam, four steel - recycled concrete beams were tested on their bending performance. Through the test, the mechanical characteristics and deformation mode of steel - recycled concrete beams from the starting loading until to damage were completely recognized. The effect of different coarse aggregate substitution rate and reinforced stirrup on its mechanical features were also analyzed. The results show that different coarse aggregate substitution rate have little effect on the ultimate strength of steel - recycled concrete beam. The stirrup ratio have certain influence on the crack distance and development of beam. The horizontal section assumption is feasible to the Steel - recycled concrete beam. The research conclusions can be a help to relevant study and engineering application.

Key words: steel - recycled concrete beam; bending performance; substitution rate; stirrup ratio

钢与混凝土组合结构作为一种合理的结构形式,以其构件和结构承载高、刚度大、截面尺寸小和良好的抗震性能等许多突出的优点,已被逐渐推广应用到建筑、桥梁、地下等各种土木工程领域中。型钢再生混凝土是将再生混凝土应用到型钢混凝土组合结构中,这样既可以弥补再生混凝土材料本身的不足^[1-2],又可以使结构具有组合结构的优点,但目前国内外对型钢再生混凝土梁的研究还鲜有报道^[3-7]。为此,本文进行了4组共12根型钢再生混凝土梁的抗弯性能试验,了解型钢再生混凝土梁从开始加载直至破坏各个阶段的受力特点和变形特征,分析不同粗骨料取代率和钢筋配箍率对其受力特征的影响,为此类结构在

工程中的推广应用提供基础。

1 试验介绍

试验制作并完成4组共计12根型钢混凝土梁的加载试验,每组有三根试验梁。其中第1组为原生型钢混凝土梁(取代率0%),其箍筋间距为150 mm,编号为L1(L1-1、L1-2、L1-3);第2组为50%再生粗集料取代率的型钢再生混凝土梁,其箍筋间距为150 mm,编号为L2(L2-1、L2-2、L2-3);第3组为100%再生粗集料取代率的型钢再生混凝土梁,箍筋间距为150 mm,编号为L3(L3-1、L3-2、L3-3);第4组为原生型钢混凝土梁,其箍筋间距为100 mm,编号为L4(L4-1、

收稿日期:2015-09-10

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(E2015402057);河北省教育厅青年基金资助项目(QN20131029);河北省住建厅项目(2013-102)

作者简介:吴平川(1979-),男,河北邯郸人,博士,讲师,主要从事结构抗震方面的研究。

L4-2、L4-3)。试验梁的具体设计参数见表1,构件截面尺寸及加载示意图见图1。

整个梁的加载试验在河北工程大学结构实验室进行。竖向荷载通过千斤顶加在分配梁上,分配梁采用的支座形式与本次试验的型钢再生混凝土梁构件的支座形式均为简支。试验过程中采用DH3815N静态应变测试系统进行应变采集。

表1 试验梁的参数取值

Tab.1 Design value of specimen beam

编号	强度等级	取代率/%	箍筋	$b \times h/\text{mm}$	l/mm	纵筋	型钢
L1	C30	0	A6@150	200×260	2100	B14	I14
L2	C30	50	A6@150	200×260	2100	B14	I14
L3	C30	100	A6@150	200×260	2100	B14	I14
L4	C30	0	A6@100	200×260	2100	B14	I14

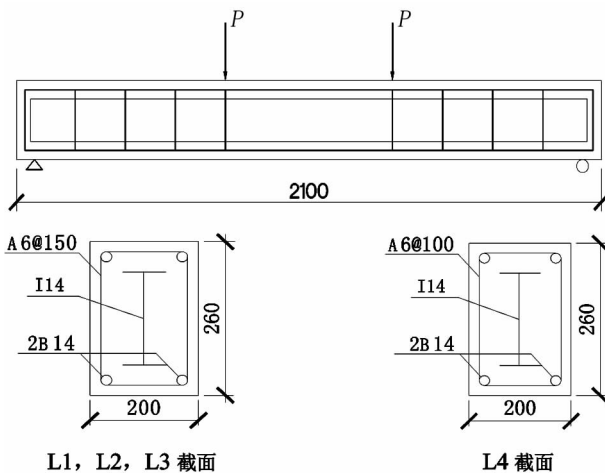


图1 构件截面尺寸(单位: mm)

Fig.1 The section size of member(unit: mm)

2 试验现象描述及结果分析

2.1 典型试验现象描述

试验以一典型再生混凝土构件 L2-1 为例描述梁的破坏过程。荷载加到 48 kN 时,在跨中出现与梁纵向垂直的裂缝,随着荷载增加,跨中两侧不断出现新的裂缝,裂缝的方向与梁纵向垂直,梁身裂缝发展较为缓慢,裂缝的宽度也比较小;荷载加到 120 kN 时,梁的弯剪段出现多条斜向的弯剪裂缝,并且均斜向指向加载点,此时,跨中裂缝宽度为 0.12 mm;荷载加载到 200 kN 时,混凝土梁的挠度突然增大,加载系统读数开始下降,此时,跨中裂缝宽度明显增加,当跨中裂缝宽度增加至 2 mm 时,跨中顶部混凝土压碎区域明显扩大,并有混凝土碎渣剥落现象出现;此后,荷载已加不上去,并不断回落,说明梁 L2-1 已破坏。

2.2 荷载-跨中挠度曲线分析

由图2、图3梁荷载-跨中挠度曲线图可知,型钢再生混凝土梁与普通型钢混凝土梁一样,在整个受力阶段,也分为弹性、带裂缝和破坏三个状态。弹性工作状态,型钢再生混凝土梁拉区混凝土还处于弹性状态,各部分应力很小,荷载-跨中挠度曲线为直线形式。当型钢混凝土梁拉区开始出现裂缝,并且荷载-跨中挠度曲线达到弹性点时。裂缝随荷载的不断加大进一步发展并趋于稳定,由于型钢截面的刚度较大,梁开裂后截面刚度降低程度较并不大,荷载-跨中挠度曲线仍表现为一直线。当荷载继续加大,受拉钢筋和型钢受拉翼缘进入屈服状态,截面刚度也大大降低,荷载-跨中挠度曲线明显弯曲。继续加载,由于梁截面的刚度已经很小,压区混凝土应力发展明显加快,观测到荷载-挠度曲线接近水平线。当荷载达到极限值的时候,跨中型钢上翼缘处受压区的混凝土被压碎,型钢再生混凝土梁的抗弯承载力也随之大大降低。由于型钢的延性比钢筋好,所以变形可以持续发展很长一段时间,因此,达到极限承载力以后,荷载值下降的比较缓慢。

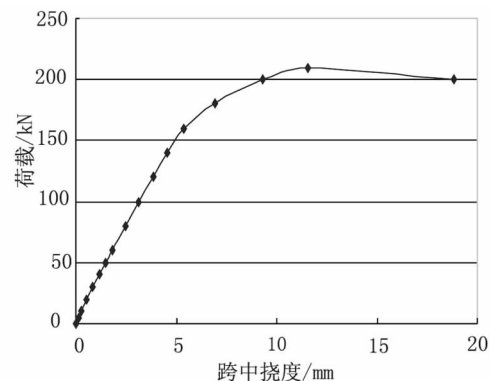


图2 L1-1荷载-挠度变形曲线

Fig.2 The load-deflection curve of L1-1

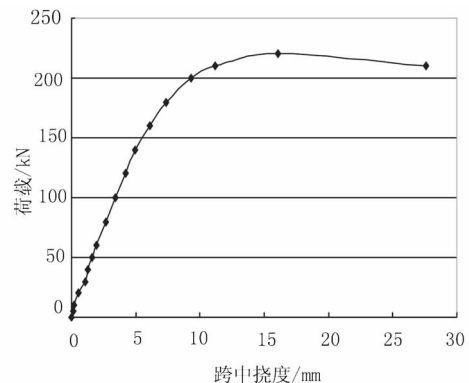


图3 L3-1荷载-挠度变形曲线

Fig.3 The load-deflection curve of L3-1

表2 试验梁特征点参数

Tab. 2 Feature point parameters of specimen

编号	取代率/%	P_{cr}/kN	f_{cr}/mm	P_u/kN	f_u/mm
L1	0	48	1.38	218	18.82
L2	50	48	1.72	226	27.61
L3	100	42	1.04	223	19.40
L4	0	40	1.08	220	22.96

注: P_{cr} 、 P_u 分别为试件对应的开裂荷载与极限荷载; f_{cr} 、 f_u 分别为各特征点对应的跨中位移。

从表2可以看出,钢筋配箍率相同的情况下,粗骨料的取代率从0%提高到50%时,极限承载力提高了3.67%;粗骨料取代率从0%提高到100%时,极限承载力提高了1.83%,这主要是由于在搅拌过程中混凝土再生粗骨料表面的水泥基体吸掉了部分水分,导致混凝土强度提高。说明虽然箍筋增大了型钢和混凝土之间的组合作用,但对于型钢混凝土梁的正截面承载力影响甚微。L1和L4的极限承载力相当,通过对试验梁裂缝间距及裂缝宽度的测量发现,箍筋的间距对型钢混凝土梁的裂缝发展有一定关系。

2.3 应变曲线

图4、图5分别为试验梁L1、L3的跨中位置在不同荷载下的混凝土、型钢的应变曲线。从图4、图5可以看出,从加载开始直至达到极限荷载的过程中,型钢截面与混凝土截面的应变分布基本一致,且均接近于直线,证明型钢和混凝土之间可以共同工作,型钢再生混凝土梁截面中型钢和再生混凝土的应变符合平截面假定。

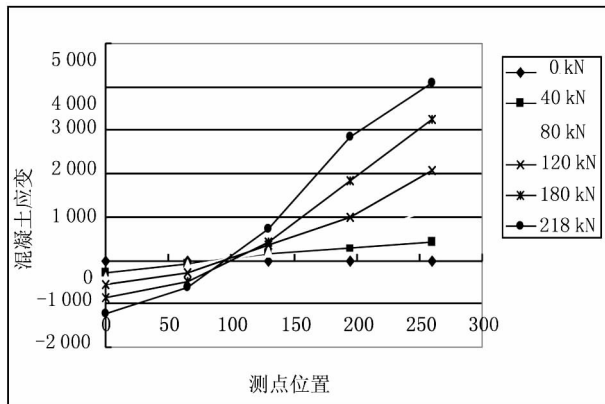


图4 L1-1应变曲线

Fig. 4 Strain curve component of L1-1

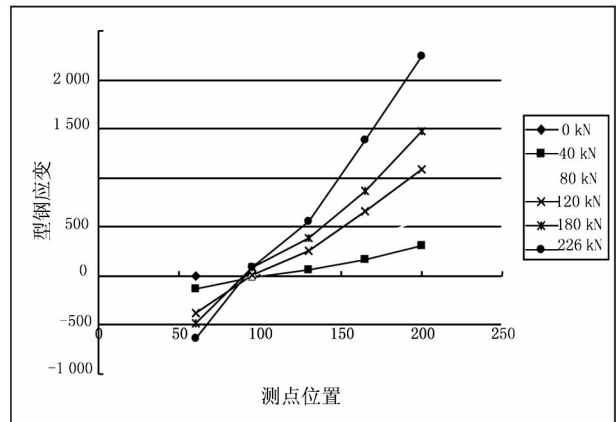
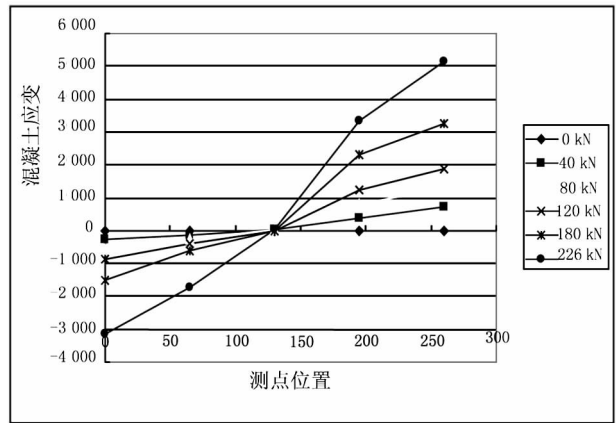


图5 L3-1的应变曲线

Fig. 5 Strain curve component of L3-1

3 结论

1) 型钢再生混凝土的受力过程也有明显的弹性、开裂、屈服和极限4个阶段。

2) 在配箍率不变的情况下,不同再生粗骨料取代率对型钢再生混凝土梁的极限承载力没有显著影响;由于再生粗骨料表面黏附着水泥基体,在混凝土搅拌过程中吸附掉部分水分,导致实际水灰比变小,导致型钢再生混凝土的强度稍有提高。

3) 在取代率一致的情况下,配箍率对型钢混

混凝土梁的极限承载力没有明显差异,但是对型钢混凝土梁的裂缝间距及裂缝发展有一定影响。

4)型钢再生混凝土梁截面基本符合平截面假定。

参考文献:

- [1]肖建庄.再生混凝土[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2]马辉,薛建阳,高亮,等.水平荷载作用下型钢再生混凝土柱受力性能非线性分析[J].建筑结构,2015(5):63-68.
- [3]薛建阳,马辉,刘义.反复荷载下型钢再生混凝土柱抗

- 震性能试验研究[J].土木工程学报,2014(1):36-46.
- [4]赵鸿铁.钢与混凝土组合结构[M].北京:科学出版社,2004.
- [5]安新正,郭恒,李莎莎,等.再生粗骨料粒径对再生混凝土早期开裂影响研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2014,31(1):1-5.
- [6]张军.再生混凝土研究及再生混凝土柱力学性能分析[D].成都:西南交通大学,2007.
- [7]姜新佩,李莹,张胜彦.邯郸地区再生骨料在混凝土和砂浆中应用[J].河北工程大学学报:自然科学版,2013,3(3):49-53.

(责任编辑 王利君)

(上接第26页)将本文依据试验结果拟合的曲线与C. Rocco的曲线图^[5]进行对比,可以认为,本文试验获得的 f_{ts}/f_t 与 D/L_{ch} 的曲线走势与C. Rocco通过有限元计算得到的曲线走势基本相同,随着 D/L_{ch} 的增大, f_{ts}/f_t 的逐渐减小;随着 β 增大,对于相同的 D/L_{ch} , f_{ts}/f_t 的值逐渐增大。

(2)量值分析方面

利用STB组尺寸为 $\varphi 100\text{ mm} \times 200\text{ mm}$,垫条宽度与直径之比 $\alpha = 0.0333$ 的圆柱体试件劈裂抗拉强度实测值,同按式(3)推得的劈裂抗拉强度理论值作对比,具体计算过程见文献^[10]。结果表明,本文推导公式求出的劈裂抗拉强度理论值略小于试验中获得的实测劈裂强度,两者相差16%,在工程允许范围内。

3 结论

1)根据混凝土劈拉试验结果可以看出,随着垫条宽度的增加,圆柱体混凝土试件的劈裂抗拉强度随之上升,但上升幅度并不大。垫条宽度每增加2 mm,混凝土的劈裂抗拉强度大约增加0.02~0.03 MPa。

2)基于黏聚裂纹模型,对 f_{ts}/f_t 与 D/L_{ch} 曲线进行回归分析,得到了不同的垫条宽度下 f_{ts}/f_t 与 D/L_{ch} 的回归方程: $\frac{f_{ts}}{f_t} = \frac{1}{c_1 + c_2 D/L_{ch}} + c_3$;并通过曲线对比与量化分析两个角度证明了回归方程的合理性,对大体积混凝土结构的设计及检测具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1]过镇海.混凝土的强度和变形:试验基础和本构关系[M].北京:清华大学出版社,1997.
- [2]中国建筑科学研究院.普通混凝土力学性能试验方法[M].北京:中国铁道出版社,1985.
- [3]徐积善.强度理论及其应用法[M].北京:水利电力出版社,1984.
- [4]TANG T. Effects of load - distributed width on split tension of unnotched and notched cylindrical specimens [J]. Journal of Testing and Evaluation, 1994, 22(5): 401 - 409.
- [5]ROCCO C, GUINEA G V, PLANAS J, et al. Review of the splitting - test standards from a fracture mechanics point of view[J]. Cement and concrete research, 2001, 31(1): 73 - 82.
- [6]丁晓唐,王磊,刘海霞,等.确定混凝土受拉应力-应变全曲线的一种新型试验方法[J].水电能源科学, 2013, 31(12): 126 - 129.
- [7]HILLERBORG A, MODERER M, PETERSSON P E. Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements [J]. Cement and concrete research, 1976, 6(6): 773 - 781.
- [8]ELICES M, PLANAS J, GUINEA G V. Fracture and damage of concrete and rock [M]. London: Rossmannith, 1993.
- [9]朱敏敏.大坝混凝土和湿筛混凝土直接拉伸断裂特性研究[D].杭州:浙江工业大学, 2011.
- [10]郑艳.混凝土劈拉强度影响因素及与轴拉强度的关系研究与应用[D].南京:河海大学, 2015.

(责任编辑 李军)