

# 再生砖骨料混凝土梁斜截面抗剪性能试验研究

王纯合, 翟爱良, 季昌良, 韩 健, 王成名

(山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

**摘要:** 为分析剪跨比、配筋率等条件相同的情况下,不同再生砖骨料取代率下再生砖骨料混凝土梁的极限承载力、裂缝开展情况、破坏形态、破坏规律的差别,制作了5根不同再生砖骨料取代率(0,30%,50%,70%和100%)的再生砖骨料混凝土梁,进行静力加载试验.试验结果表明,再生砖骨料混凝土梁和普通混凝土梁的裂缝开展过程和破坏形态大致相同,均属于典型的剪压破坏;但再生砖骨料混凝土梁的开裂荷载、斜裂缝出现时的荷载和极限荷载均低于普通混凝土梁.当再生砖骨料取代率超过50%时,再生砖骨料混凝土梁在试验中表现出了良好的受力性能,可以应用于工程实践.

**关键词:** 再生砖骨料;混凝土梁;斜截面;再生砖骨料取代率

**中图分类号:** X799.1;TU528

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2013)04-0040-05

随着我国城市化和新农村建设进程的不断加快,产生了大量的建筑垃圾,既有混凝土梁、柱、板、剪力墙等大型块状体垃圾,也有砖混结构等产生的砖、瓦等小型块状垃圾,这些建筑垃圾的不当闲置不仅占用了大量土地,而且还会对河流、浅层地表土和地下水资源产生严重的污染<sup>[1]</sup>.如果能通过一定的技术和工艺对这些建筑垃圾进行加工处理、再生循环利用,不仅可以解决建筑垃圾处理困难和由此引发的环境污染问题,同时也可减少对天然石子的开采,进一步保护生态环境,促进社会的协调可持续发展.

再生砖骨料混凝土是指将废弃的砖经破碎、清洗及筛分后作为混凝土粗骨料,部分或全部代替天然石子配制成的新型混凝土<sup>[2]</sup>.目前我国对再生砖瓦粗骨料混凝土的研究和应用仍处于起步阶段,多家机构和单位对再生砖骨料混凝土的基本性能做了初步研究,而在结构承重用再生砖骨料混凝土方面尤其是受弯构件抗剪性能研究方面还未见相关报道<sup>[3-5]</sup>.本次试验是在前期研究的基础上,研究再生砖骨料混凝土梁的抗剪性能,进一步验证把再生砖骨料应用于承重构件的可行性.

## 1 试验设计

### 1.1 原材料

本次试验选用建筑工地旧房拆除后的废弃砖,测得其强度可达MU10,经人工破碎,筛分后得到粒径分别为5~10 mm,10~16 mm,16~20 mm的再生砖骨料,然后用水冲洗,去除表面附着的尘土及杂质,并用水泥浆将其包裹,进行强化处理.与天然骨料相比,再生砖骨料具有空隙率较高,堆积密度、表观密度较小,含水率、吸水率较高,压碎指标较高的特点,测试其基本性能<sup>[6]</sup>为:堆积密度1 008 kg/m<sup>3</sup>,表观密度2 400 kg/m<sup>3</sup>,吸水率14.13%(裹浆后吸水率为9.64%),含水率2.75%,压碎指标38%.(天然骨料的基本性能为:堆积密度1 509 kg/m<sup>3</sup>,表观密度2 670 kg/m<sup>3</sup>,吸水率0.82%,含水率0.72%,压碎指标20%.)

其他材料分别为:山东泰安鲁润水泥制造有限公司生产的普通硅酸盐水泥,强度等级32.5;泰安市河产中砂;泰安市建材公司生产的碎石,最大粒径为20 mm,连续级配.所选用纵筋为HRB335 $\Phi$ 20带肋钢筋,箍

收稿日期:2013-02-01

基金项目:山东省自然科学基金项目(2009ZRB01879)

作者简介:王纯合(1989-),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要从事工程加固与结构改造研究.

E-mail: wangchunhe130@163.com 通信作者:翟爱良(E-mail: zhaial@sdau.edu.cn)

筋为 HPB235  $\Phi 6$  光圆钢筋. 对钢筋采样分别进行抗拉试验, 实测屈服强度、极限强度和弹性模量. 在制作各混凝土梁时, 实测再生砖骨料混凝土的抗压强度. 材料性能测试结果见表 1.

表 1 材料性能

Tab. 1 Material properties

混 凝 土		钢 筋			
再生粗骨料体积 取代率/ %	立方体抗压强度 标准值 $f_{cu}$ / MPa	钢筋类别	屈服强度 $f_y$ / MPa	极限强度 $f_u$ / MPa	弹性模量 $E_s$ / GPa
0	27.3	$\Phi 6$ 光圆钢筋	510	616	210
30	25.3				
50	26.8				
70	28.1	$\Phi 20$ 带肋钢筋	376	541	200
100	26.6				

### 1.2 配合比设计

本试验以 2 组具有相同强度等级混凝土的配合比为基准, 一组为普通混凝土, 一组为再生砖骨料替代率为 100% 的混凝土, 其他各组再生砖骨料混凝土的配合比按照各自的再生砖骨料的替代率由上述 2 组基准配合比计算得出. 如要求 L2 梁的用水量, 设普通混凝土梁 L1 的用水量为  $W_1$ , 再生砖骨料替代率为 100% 的混凝土梁 L5 的用水量为  $W_5$ , L2 梁的再生砖骨料取代率为 30%, 那么 L2 梁的用水量就为  $(0.7W_1 + 0.3W_5)$ , 其他各种材料依此类推. 表 2 中的用水量是按再生砖骨料裹浆之后的吸水率及拌合混凝土时再生砖骨料的含水率并结合水泥的用量共同确定的. 从表 2 可见, 随着再生砖骨料取代率的增加, 用水量也逐渐增大, 这是由于再生砖骨料表面粗糙、孔隙率大, 且在破碎过程中其内部往往会产生大量的裂纹, 因此与普通混凝土相比, 再生砖骨料吸水率要大得多. 所以用于制备再生砖骨料混凝土的水可以看作两部分, 一部分为形成水泥胶凝体的水分, 相当于普通混凝土中的水灰比的水; 另一部分为满足再生砖骨料的吸水率过高的水. 配合比设计结果见表 2.

表 2 再生砖骨料混凝土配合比

Tab. 2 Mixing proportion of the recycled brick coarse aggregate concrete

试件编号	再生砖骨料 取代率/ %	水 灰 比	砂 率	混凝土材料用量/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )				
				水	水泥	砂	天然骨料	再生砖骨料
L1-0	0	0.566	0.37	198.66	333.51	709.50	1 204.73	0
L2-30	30	0.621	0.37	220.31	354.72	654.77	843.31	268.48
L3-50	50	0.636	0.37	234.74	368.86	618.29	602.36	447.47
L4-70	70	0.651	0.37	249.17	382.99	581.80	361.42	626.46
L5-100	100	0.670	0.37	270.81	404.20	527.07	0	894.94

注: 砂率指砂的质量与粗细骨料(砂、石和再生砖骨料)质量总和的比值.

### 1.3 试件设计

试验取表 2 中的配合比各浇筑 1 根梁, 共 5 根. 梁的跨度、截面尺寸、剪跨比、配筋率均相同, 试验时剪跨比取 2.0, 箍筋沿梁全长配置  $\Phi 6@200$ , 配箍率为 0.189%, 受拉钢筋为  $2\Phi 20$ , 配筋率为 1.95%, 试件截面尺寸均为  $150 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 2100 \text{ mm}$ , 配筋情况如图 1 所示.

### 1.4 加载与测量

试验采用 2 点加载, 加载位置及测点布置如图 1 所示, 剪跨比为 2.0. 预先在梁支座和加载点这一区段的每个箍筋对称粘贴 2 片应变片; 在每根受拉钢筋靠近支座附近对称位置及受拉钢筋跨中处粘贴应变片; 在位于剪跨区段及跨中位置的混凝土表面分别粘贴 3 片应变片, 分别测量每级荷载作用下箍筋应变值、纵筋应变值和混凝土应变值, 并记录每根混凝土梁的开裂荷载和极限破坏荷载, 在加载点下方和跨中位置放置百分表测量每级荷载作用下梁的位移.

加载仪器选用 YAW-3000F 微机控制电液伺服结构试验机,采用分配梁实现 2 点加载. 首先对试件进行预加载,检测实验装置的可靠性及各项仪器的工作性能,然后进行正式加载,以计算极限荷载值的 10% 为级度逐级加载,当加载至计算极限荷载值的 90% 时改为每级为计算值的 5% 进行加载,每级加载结束时停留 10 min,以便记录数据及观测裂缝开展情况,加载速率为 2 kN/min. 整个试验严格按照 GB 50152-92《混凝土结构试验方法标准》进行.

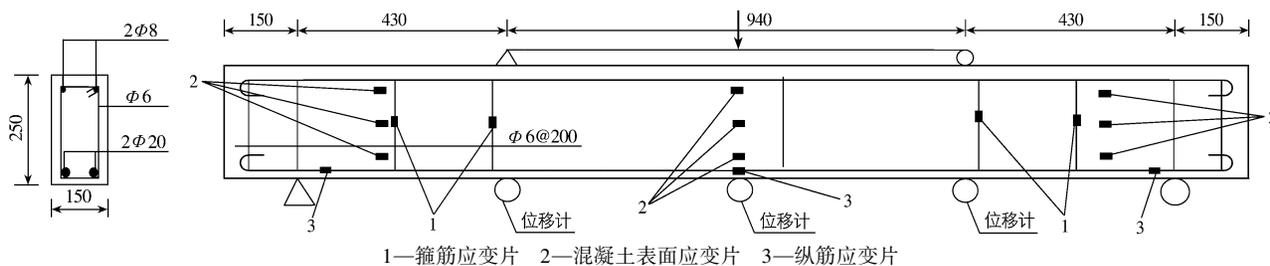


图 1 混凝土简支梁及测点布置(单位: mm)

Fig. 1 Layout of concrete beam with the measuring points (unit: mm)

## 2 试验结果及分析

### 2.1 梁的斜截面破坏形态

当荷载较小时,由弯矩引起的正应力和剪应力均较小,梁处于弹性状态,当荷载达到一定值时,在纯弯段出现受拉裂缝.随着荷载的继续增加,在弯剪区开始出现细小的斜裂缝,荷载继续增加后,几条细小的斜裂缝汇聚成 1 条主斜裂缝,成为临界斜裂缝,随后主斜裂缝向荷载作用点延伸.当荷载达到极限破坏荷载时,梁在剪应力和压应力的共同作用下达达到复合应力状态下的极限破坏荷载,梁失去承载力而破坏.从梁的破坏情况可以得出每根梁的破坏形态相同,均属于典型的剪压破坏,表明再生砖骨料对混凝土梁的破坏形态没有影响. L1-0 和 L5-100 梁的破坏情况如图 3 所示,其他梁的破坏情况相似.

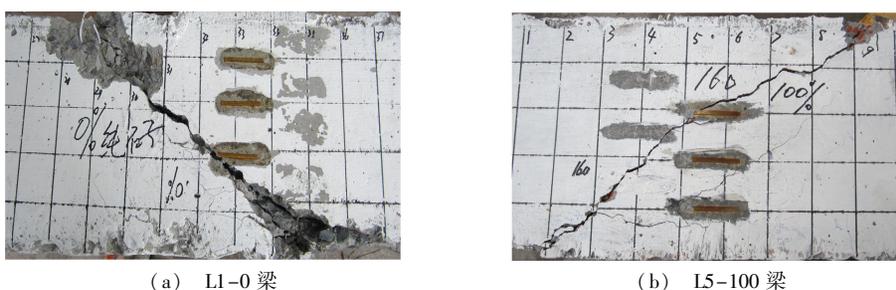


图 2 L1-0 和 L5-100 梁破坏时照片

Fig. 2 Failure pictures of L1-0 and L5-100

### 2.2 梁的抗剪承载力及裂缝开展情况

通过试验测得每根梁的斜截面受力性能试验结果如表 3 所示.从表 3 可见,随着再生砖骨料替代率的提高,再生砖骨料混凝土梁的开裂荷载、斜裂缝出现时的荷载和极限荷载总体上呈逐渐降低的趋势,与另外 3 组再生砖骨料梁相比,30% 替代率的再生砖骨料混凝土梁的开裂荷载、斜裂缝出现时的荷载和极限荷载降低得最快,而 30% 替代率的再生砖骨料混凝土强度也最低,表明 30% 替代率的再生砖骨料混凝土受力性能较差,原因可能是当再生砖骨料取代率较低时,再生砖骨料与天然石子之间的级配较差,两者不能很好地协调工作,在文献[2,7]中也有类似结论,具体原因需待进一步研究.从表中的数据还可看出,5 根梁的抗剪强度比较接近,而开裂荷载和斜裂缝出现时的荷载却差距较大,表明再生砖骨料对梁的抗剪性能的影响更多体现在受力过程中.同时随着再生砖骨料替代率的提高,再生砖骨料混凝土梁破坏时斜裂缝的平均宽度也逐渐增大.

表3 试验结果  
Tab.3 Test results

梁的编号	开裂荷载/kN	斜裂缝出现荷载/kN	极限荷载/kN	破坏时斜裂缝平均宽度/mm
L1-0	44	120	176.8	0.80
L2-30	29	70	158.0	1.10
L3-50	37	100	172.2	1.10
L4-70	35	80	164.2	1.15
L5-100	31	80	160.0	1.20

再生砖骨料混凝土梁的开裂荷载、斜裂缝出现荷载、极限荷载、抗剪强度均比普通混凝土梁低,而破坏时的斜裂缝平均宽度值均比普通混凝土梁高,表明再生砖骨料会使混凝土梁的抗剪性能降低。

### 2.3 试验梁的荷载-跨中挠度曲线

试验梁的荷载-跨中挠度曲线如图3所示。从5根试验梁的荷载-跨中挠度曲线可见,普通混凝土梁和再生砖骨料混凝土梁的受力过程都可以分为弹性阶段和非弹性阶段。再生砖骨料梁的跨中挠度随荷载变化的规律与普通混凝土梁相似,在加载的前期荷载与跨中挠度基本成直线关系,梁处于弹性阶段。随着荷载的增加,荷载与跨中挠度曲线逐渐偏向X轴,说明跨中挠度较荷载变化得更快,梁进入非弹性阶段。从荷载与跨中挠度曲线还可以看出,普通混凝土梁的抗弯刚度最高,然后是替代率为70%的再生砖骨料混凝土梁,30%替代率的再生砖骨料混凝土梁的抗弯刚度最低,这表明随着再生砖骨料替代率的提高,再生砖骨料混凝土的弹性模量有降低的趋势,但也与再生砖骨料混凝土的强度有关。

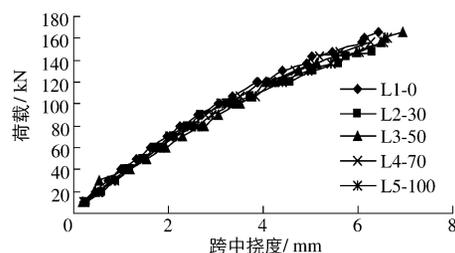


图3 荷载-跨中挠度曲线

Fig.3 Load-deflection curves

### 2.4 试验梁的荷载-箍筋应变曲线

试验梁的荷载-箍筋应变曲线如图4所示,其中应变结果为箍筋应变的平均值。从图4可以看出,5根梁的箍筋应变变化趋势相似,在斜裂缝出现之前,箍筋的应变很小,说明在斜裂缝出现前主要由混凝土承受剪力。斜裂缝出现之后,与之相交的箍筋应变发生突变,之后随着荷载的增加箍筋应变迅速增大。其中L1-0和L3-50梁的箍筋应变变化情况相似,箍筋的应变也表现得最充分,L1-0梁在荷载加至120kN时箍筋应变发生突变,这是因为在120kN恒载过程中,位于剪压区的裂缝迅速开展,最终形成斜裂缝,与斜裂缝相交的箍筋应变突然增大。通过布置在纵筋的应变片采集的数据显示,纵筋的应变值均小于其屈服强度,而与斜裂缝相交的箍筋均达到了屈服强度,说明试件均为剪切破坏。

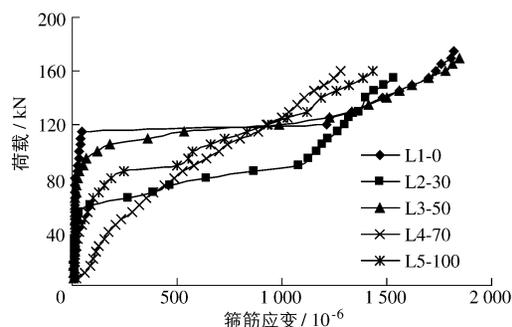


图4 荷载-箍筋应变曲线

Fig.4 Load-stirrup strain curves

与普通混凝土梁相比,再生砖骨料混凝土梁的箍筋开始发生较大应变时的荷载值均较低,表明再生砖骨料混凝土梁的内部裂缝开展得比普通混凝土梁早,与之相交的箍筋开始承担剪力,致使箍筋更早地发生较大应变,而由于再生砖骨料混凝土梁的抗剪承载力小,箍筋的应变也没有普通混凝土梁的充分。

## 3 结 语

(1)在配筋情况和混凝土强度等级相同的条件下,再生砖骨料混凝土梁和普通混凝土梁的破坏形态相同,均为剪压破坏;破坏过程也相似,分为弹性阶段和非弹性阶段。

(2)随着再生砖骨料替代率的提高,再生砖骨料混凝土梁的开裂荷载、斜裂缝出现时的荷载和极限荷载总体上呈逐渐降低的趋势,其中L2-30梁的极限荷载和开裂荷载最低,通过荷载-跨中挠度曲线和荷载-箍

筋应变曲线可以反映出 L2-30 梁的受力性能也最差。

(3) 随着再生砖骨料替代率的提高,再生砖骨料混凝土梁的斜裂缝宽度也逐渐增大。

(4) 与普通混凝土梁 L1-0 梁相比,再生砖骨料替代率为 50% 的 L3-50 梁的开裂荷载、斜裂缝出现时的荷载、极限荷载分别降低了 15.9%、16.7% 和 2.6%,但总体受力性能良好,可以应用于工程实践。

#### 参 考 文 献:

- [1] 严捍东, 陈秀峰. 废弃黏土砖再生骨料对混凝土性能的影响研究[J]. 四川建筑科学研究, 2009, 35(5): 179-182. (YAN Han-dong, CHEN Xiu-feng. Study on effects of waste clay brick recycled aggregate on concrete properties[J]. Sichuan Building Science, 2009, 35(5): 179-182. (in Chinese))
- [2] 季昌良, 翟爱良, 翟文举, 等. 再生砖粗骨料混凝土梁抗弯性能试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2012(6): 59-64. (JI Chang-liang, ZHAI Ai-liang, ZHAI Wen-ju, et al. Experimental study on flexural performance of recycled brick coarse aggregate concrete beam[J]. Journal of Hydro-Science and Engineering, 2012(6): 59-64. (in Chinese))
- [3] 范小平. 再生粘土砖骨料混凝土的性能研究[J]. 福建建材, 2006, 93(3): 27-28. (FAN Xiao-ping. Study on recycled clay brick aggregate properties[J]. Fujian Building Materials, 2006, 93(3): 27-28. (in Chinese))
- [4] 卢建忠, 马嵘. “体积取代法”碎砖再生混凝土性能的研究[J]. 嘉兴学院学报, 2003, 15(增刊1): 113-115. (LU Jian-zhong, MA Rong. Experiment analysis on performance of reclaimed concrete with the volume replacement method[J]. Journal of Jiaying College, 2003, 15(Suppl1): 113-115. (in Chinese))
- [5] XIE Ling-jun, ZHAI Ai-liang, WANG Chun-he, et al. Experimental study on the splitting tensile strength of recycled concrete made of brick and tile[J]. Applied Mechanics and Material, 2012, 166(5): 1521-1525.
- [6] 谢玲君, 翟爱良, 王晖, 等. 烧结砖瓦再生骨料级配混凝土力学性能的影响[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(6): 52-55, 80. (XIE Ling-jun, ZHAI Ai-liang, WANG Hui, et al. Impacts of recycled aggregate gradation of sintering bricks and tiles on mechanical properties of concrete[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2010, 8(6): 52-55, 80. (in Chinese))
- [7] 兰阳, 肖建庄, 李佳彬. 再生粗骨料混凝土材料与梁抗剪性能研究[J]. 特种结构, 2006, 23(2): 8-10. (LAN Yang, XIAO Jian-zhuang, LI Jia-bin. Preliminary study on mechanical properties and shear behavior of recycled coarse aggregate concrete[J]. Special Structures, 2006, 23(2): 8-10. (in Chinese))

## Experimental studies on shear performance of recycled brick coarse aggregate concrete beam

WANG Chun-he, ZHAI Ai-liang, JI Chang-liang, HAN Jian, WANG Cheng-ming

(Water Conservancy and Civil Engineering College, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

**Abstract:** In order to study the difference of the ultimate bearing capacity, the diagonal cracking development situation and the fracture morphology between 5 beams which have the same axial compressive strength, 5 recycled brick coarse aggregate concrete beams having different replacement ratios of the recycled coarse aggregate are made and the static loading tests on 5 beams are carried out. The test results show that the diagonal cracking development situation and the fracture morphology of the recycled brick coarse aggregate concrete beam are typical shear compression failure and similar to the natural aggregate concrete beams; but the cracking load, the load during diagonal crack and ultimate load are lower than those of the natural aggregate concrete beams. When the replacement ratio of the recycled coarse aggregate is more than 50%, the recycled brick coarse aggregate concrete beams show good mechanical properties in the course of experiments and can be considered to apply to engineering practices.

**Key words:** recycled brick coarse aggregate; concrete beam; diagonal section; replacement ratio of recycled coarse aggregate