

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.01.018

再生骨料混凝土梁抗剪性能试验研究

吴 瑾¹,丁东方²,张 闻¹

(1.南京航空航天大学航空宇航学院,江苏 南京 210016;2.连云港市交通局,江苏 连云港 222000)

摘要 :通过 8 根再生混凝土有腹筋梁和 4 根普通混凝土有腹筋梁的对比试验,研究了再生混凝土梁斜截面的破坏形态、斜向开裂荷载和抗剪承载力.结果表明:再生混凝土抗压强度、梁的剪跨比和配箍率等因素影响再生混凝土梁的抗剪性能,再生混凝土梁的斜向开裂荷载比普通混凝土梁低 6%~20%;在配箍率相对较高的情况下,再生混凝土梁的抗剪承载力与普通混凝土梁相差不大,配箍率偏小时,抗剪承载力相差较大,幅度达 23%;再生混凝土梁的抗剪承载力随着剪跨比的增大而减小.根据试验结果,拟合出再生混凝土梁斜向开裂荷载以及抗剪承载力计算表达式.

关键词 :再生混凝土梁;破坏形态;斜向开裂荷载;抗剪承载力

中图分类号 :TU37 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2010)01-0083-04

再生混凝土是废弃混凝土块经过破碎、清洗和分级,再按一定比例混合后作为部分或全部骨料配制的混凝土.再生混凝土应用既可以有效地减少自然资源的消耗,又能减轻废旧混凝土对环境的污染,促进建筑业的可持续发展.国内外对再生混凝土及再生混凝土构件性能进行了许多研究^[1].比如:Etxeberria 等^[2]研究了取代率和配箍率对抗剪承载力的影响;Beléf^[3]研究了配箍率对再生混凝土梁抗剪承载力的影响;Masaru 等^[4]研究了混凝土强度和截面尺寸对再生混凝土梁抗剪性能的影响;肖建庄等^[5-6]通过 3 根粗骨料取代率分别为 0、50%、100% 的有腹筋再生混凝土梁试验,提出了有关取代率与抗剪承载力的计算公式;张雷顺等^[7]对无腹筋再生混凝土梁进行了试验,研究了再生骨料取代率和剪跨比对无腹筋再生混凝土梁破坏形态和斜裂缝的影响.目前研究主要侧重于不同取代率的再生混凝土梁抗剪性能,而对于取代率为 100% 的再生混凝土梁抗剪性能的研究不够.笔者通过 8 根取代率为 100% 的再生混凝土有腹筋梁和 4 根普通混凝土有腹筋梁的对比试验,研究了混凝土抗压强度、剪跨比和配箍率等因素对再生混凝土梁斜截面破坏形态、斜向开裂荷载和抗剪承载力的影响.

1 试件的设计与制作

试验中,普通混凝土梁的粗骨料为天然碎石,粒径 5~40 mm.再生混凝土梁的粗骨料来源于废弃的钢筋混凝土梁.通过钻芯取样,测得原生混凝土强度范围 17.8~33.2 MPa.经人工破碎、清洗、分级成粒径 5~40 mm 的骨料.再生骨料压碎指标值 21.1%,10 min 吸水率 4.20%.细骨料为河砂.水泥为 32.5 强度等级普通硅酸盐水泥.箍筋采用 HPB235 级热轧钢筋,直径 6 mm,箍筋实测屈服强度 302 MPa,极限强度 438 MPa.设计试件的主要参数是配箍率、剪跨比和混凝土抗压强度.试验梁共 12 根,分为 2 组:4 根普通混凝土梁,8 根再生混凝土梁.梁的截面为矩形,截面尺寸为 120 mm×200 mm,梁长为 1500 mm.试件情况见表 1.试验采用三分点对称加载.

表 1 试件基本情况

Table 1 Details of specimens

试件 代号	设计 等级	配箍率 $\rho_{sv}/\%$	抗压强度 f_{cu}/MPa	剪跨比 λ	粗骨料 类型
L1	C40	0.24	39.5	1.5	再生
L2	C40	0.32	41.5	1.5	天然
L3	C30	0.24	30.5	1.5	再生
L4	C30	0.24	31.2	1.5	天然
L5	C40	0.26	41.1	1.5	再生
L6	C40	0.32	42.1	1.8	再生
L7	C30	0.24	30.3	1.2	天然
L8	C45	0.24	45.6	1.5	再生
L9	C20	0.24	21.0	1.5	再生
L10	C40	0.24	41.6	1.5	天然
L11	C40	0.32	40.6	1.2	再生
L12	C40	0.32	40.8	1.5	再生

2 试件破坏形态

以 L1 梁的加载和破坏过程为例来说明试件的破坏形态.当荷载加到 10 kN 时,梁跨中出现微细垂直裂缝,此时箍筋应变基本无变化;当荷载加到 22 kN 时,弯剪区出现垂直裂缝,跨中的垂直裂缝延伸到纵筋处,箍筋应变仍无明显变化;当荷载加到 27.84 kN 时,梁一端弯剪区原有垂直裂缝发展为斜裂缝,斜裂缝宽度约为 0.05 mm,长度约为 60 mm,斜裂缝处箍筋应变增加到 44×10^{-6} ;当荷载加到 32.4 kN 时,梁另一端弯剪区内出现新的斜裂缝,长度较大,约为 200 mm,宽度为 0.05 mm,原斜裂缝处箍筋应变增加到 268×10^{-6} ;当荷载加到 39 kN 时,原箍筋应变为 580×10^{-6} ,原斜裂缝宽度发展到 0.4 mm;当荷载加到 45.6 kN 时,箍筋应变增加到 752×10^{-6} ,斜裂缝宽度为 0.5 mm;当荷载达到 55.94 kN 时,斜裂缝最宽处发展到 0.65 mm,原斜裂缝处箍筋应变为 1496×10^{-6} ;再对梁进行下一级加载时,原斜裂缝宽度突然增大到 1.5 mm 以上,根据梁斜截面破坏的定义,此时梁发生斜截面破坏.

与 L1 试件类似,试验中所有梁均发生了剪压破坏.再生混凝土梁在未出现斜裂缝前,箍筋应变和跨中挠度无明显变化.在斜裂缝出现时,箍筋应变有明显的拐点.在加载过程中,再生混凝土梁斜裂缝宽度、箍筋应变和跨中挠度随荷载有规律性地增大,但加载后期阶段,尤其是接近抗剪极限承载力时,其箍筋应变和斜裂缝宽度增大速度较快,直至试件破坏.试验中,再生混凝土梁与普通混凝土梁的破坏形态基本一致,破坏时跨中挠度值较小,箍筋应变达到钢筋屈服应变,并且最大斜裂缝宽度均超过 1.5 mm,均发生脆性的剪压破坏.

3 斜向开裂荷载

本试验试件斜向开裂荷载 V_{cr} 的确定主要根据试验时的观察记录,同时参考了试验梁荷载-箍筋应变曲线.表 2 给出了相同条件的再生混凝土梁与普通混凝土梁斜向开裂荷载.由表 2 可以看出,相同条件下的再生混凝土梁的斜向开裂荷载比普通混凝土梁小,相差幅度在 20% 以内.这说明再生混凝土梁的斜裂缝出现较早,斜向开裂荷载较小.梁的斜向开裂是当外荷载作用时,弯

表 2 再生混凝土梁与普通混凝土梁的斜向开裂荷载

Table 2 Inclined loads of recycled aggregate concrete beams and ordinary concrete beams

试验组别	试件编号	f_{cu}/MPa	粗骨料类型	$\rho_{sv}/\%$	λ	V_{cr}/kN	$(V_{cr,0} - V_{cr,R})V_{cr,0}^{-1}/\%$
1	L1	39.5	再生	0.24	1.5	27.84	5.5
	L10	41.6	天然	0.24	1.5	29.47	
2	L12	40.8	再生	0.32	1.5	26.50	19.6
	L2	41.5	天然	0.32	1.5	33.00	
3	L3	30.5	再生	0.24	1.5	19.88	10.5
	L4	31.2	天然	0.24	1.5	22.22	

注: $V_{cr,0}$ 为普通混凝土梁开裂荷载; $V_{cr,R}$ 为再生混凝土梁开裂荷载.

剪区混凝土单元的主拉应力达到混凝土的极限强度所形成的.由于再生骨料表面包裹旧砂浆,同时再生骨料在制备过程产生大量的微裂缝,相对于普通混凝土来讲,再生混凝土内部初始缺陷和微裂缝较多,再生混凝土抗拉强度较低,且再生混凝土与钢筋黏结较普通混凝土低^[8-9],从而导致了再生混凝土梁斜向开裂荷载较小.

由表 3 可以看出,对于再生混凝土梁,配箍率对斜向开裂荷载几乎没有影响,而剪跨比和混凝土强度对其影响较大;再生混凝土梁斜向开裂荷载随着剪跨比的增大而减小,随着混凝土强度等级的提高而增大.由此可以看出,剪跨比和混凝土强度是再生混凝土梁斜向开裂荷载的重要影响因素.

以剪跨比和混凝土强度为参数,根据本试验 8 根再生混凝土梁的试验结果,拟合出再生混凝土梁斜向开裂荷载表达式

$$V_{cr} = \frac{0.1f_{ck}bh_0}{\lambda + 1.3} + 3.15 \tag{1}$$

式中: b ——截面宽度; h_0 ——截面有效高度; f_{ck} ——再生混凝土轴心抗压强度.

表 3 不同影响因素下的实测梁斜向开裂荷载

Table 3 Measured inclined loads of recycled aggregate concrete beams with various factors

试件编号	f_{cu}/MPa	$\rho_{sv}/\%$	λ	V_{cr}/kN
L1	39.5	0.24	1.5	27.84
L5	41.1	0.26	1.5	27.78
L12	40.8	0.32	1.5	26.50
L6	42.1	0.32	1.8	25.30
L11	40.6	0.32	1.2	29.59
L12	40.8	0.32	1.5	26.50
L1	39.5	0.24	1.5	27.84
L3	30.5	0.24	1.5	19.88
L8	45.6	0.24	1.5	32.83
L9	21.0	0.24	1.5	16.80

4 再生混凝土梁抗剪承载力

表 4 给出了 3 组相同条件下再生混凝土梁与普通混凝土梁的抗剪承载力实测值.由表 4 可以看出 相同条件下 ,再生混凝土梁的抗剪承载力低于普通混凝土梁.再生混凝土梁的抗剪承载力由再生混凝土与箍筋 2 部分贡献 ,由于再生混凝土内部初始缺陷和微裂缝较多 ,使得再生混凝土强度较低 ,从而影响了再生混凝土梁的抗剪承载力.当配箍率相对较高时 ,这种影响相对较小

本试验再生混凝土梁的抗剪承载力与普通混凝土梁相差 2% ;当配箍率相对较低时 ,这种影响相对较大 ,再生混凝土梁抗剪承载力降低幅度达 18% ~ 23% ,且再生混凝土强度愈低 ,降低幅度愈大.

由图 1 可以看出 :再生混凝土梁的抗剪承载力随着配箍率的增大而增大 ,两者接近线性关系 ;再生混凝土梁的抗剪承载力随着剪跨比的减小而增大 ;再生混凝土梁的抗剪承载力随着混凝土强度的提高而增大 ,两者接近线性关系.

表 4 再生混凝土梁与普通混凝土梁的抗剪承载力试验值

Table 4 Test results of shear bearing capacity of recycled and ordinary concrete beams

试验组别	试件编号	f_{cu}/MPa	粗骨料类型	$\rho_{sv}/\%$	λ	V_{cr}/kN	$(V_{cs,D} - V_{cs,R})V_{cs,D}^{-1}/\%$
1	L1	39.5	再生	0.24	1.5	55.94	18.3
	L10	41.6	天然	0.24	1.5	68.5	
2	L12	40.8	再生	0.32	1.5	71.7	1.9
	L2	41.5	天然	0.32	1.5	73.1	
3	L3	30.5	再生	0.24	1.5	46.78	23.0
	L4	31.2	天然	0.24	1.5	60.5	

注 : $V_{cs,D}$ 为普通混凝土梁抗剪承载力 ; $V_{cs,R}$ 为再生混凝土梁抗剪承载力.

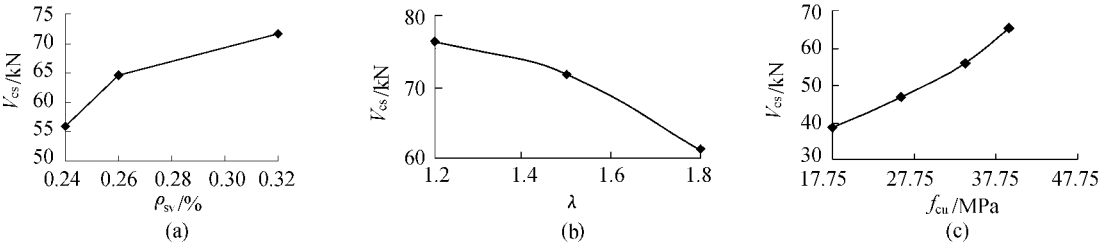


图 1 再生混凝土抗剪承载力与配箍率、剪跨比以及抗压强度的关系

Fig. 1 Relationship between shear bearing capacity , reinforcement ratio , and compressive strength of recycled aggregate concrete

以混凝土强度、剪跨比和配箍率为参数 ,根据本试验 8 根再生混凝土梁的试验结果 ,拟合出再生混凝土梁抗剪承载力表达式

$$V_{cs} = 0.88 \times 0.175f_{ck}bh_0/(\lambda + 1) + 1.07h_0A_{sv}f_{yv}/s \tag{2}$$

肖建庄等^[10]试验中 1 根再生骨料取代率为 100% 的梁 ,试验测得的抗剪承载力为 137 kN ,由式(2)计算得到的抗剪承载力为 132 kN ,两者之比 1.04.这说明表达式(2)有一定的适用性.

5 结 论

- a. 本试验再生混凝土梁的破坏形态与普通混凝土梁相同 ,均为剪压破坏.破坏时 ,临界斜裂缝处的箍筋应变达到钢筋屈服应变 ,跨中挠度较小 ,最大斜裂缝宽度均在 1.5 mm 以上 ,为脆性破坏.
- b. 由于再生混凝土内部初始缺陷和微裂缝的影响 ,再生混凝土梁的斜向开裂荷载低于普通混凝土梁 ,最大幅度达 20% .配箍率对再生混凝土梁的斜向开裂荷载几乎没有影响 ,而剪跨比和混凝土强度对其影响较大.通过 8 根再生混凝土梁的试验结果 ,拟合出了再生混凝土梁斜向开裂荷载计算表达式.
- c. 在配箍率相对较高的情况下 ,再生混凝土梁的抗剪承载力与普通混凝土梁相差不大 ,配箍率偏小时 ,抗剪承载力相差较大 ,幅度达 23% .再生混凝土梁的抗剪承载力随着配箍率的增大而增大 ,随着剪跨比的增大而降低 ,随着混凝土强度的提高而提高.通过 8 根再生混凝土梁的试验结果 ,拟合出了再生混凝土梁抗剪承载力计算表达式 ,且该表达式计算结果与其他试验结果吻合较好.

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] ETXEBERRIA M ,VAZQUEZ E ,MARI A ,et al.The role and influence of recycled aggregate concrete[C]//Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures.Barcelona :RILEM Publications SARL,2004 :1-10.
- [3] BELÉN G ,FERNANDO M.Shear strength of concrete with recycled aggregate[J].Construction and Building Materials,2007,21(4):887-893.
- [4] MASARU S ,TAKAHISA S ,IPEI M ,et al.Shear behavior of reinforced recycled concrete beam[C]//Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures.Barcelona :RILEM Publications SARL,2004 :11-19.
- [5] 肖建庄,兰阳.再生混凝土梁抗剪性能试验研究[J].结构工程师,2004,20(6):54-60.(XIAO Jian-zhuang ,LAN Yang. Experimental study on shear behavior of recycled concrete beam[J].Structural Engineers,2004,20(6):54-60.(in Chinese))
- [6] 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):3-11.(LAN Yang,XIAO Jian-zhuang ,LI Jia-bin.Preliminary study on mechanical properties and shear behaviour of recycled coarse aggregate concrete[J].Special Structures,2006,23(2):3-11.(in Chinese))
- [7] 张雷顺,张晓磊,闫国新.再生混凝土无腹筋梁斜截面受力性能试验研究[J].工业建筑,2007,37(9):57-61.(ZHANG Lei-shun,ZHANG Xiao-lei,YAN Guo-xin.Experimental research on the shearing capacity of recycled concrete beams without stirrups[J].Industrial Construction,2007,37(9):57-61.(in Chinese))
- [8] 肖建庄,李丕胜,秦薇.再生混凝土与钢筋间的黏结滑移性能[J].同济大学学报:自然科学版,2006,34(1):13-16.(XIAO Jian-zhuang ,LI Pi-sheng ,QIN Wei.Study on bond-slip between recycled concrete and rebar[J].Journal of Tongji University :Natural Science,2006,34(1):13-16.(in Chinese))
- [9] XIAO J Z ,FALKNER H.Bond behavior between recycled aggregate concrete and steel rebar[J].Construction and Building Material,2007,21:395-401.
- [10] 肖建庄,兰阳.再生粗骨料混凝土梁抗弯性能试验研究[J].特种结构,2006,23(1):9-12.(XIAO Jian-zhuang ,LAN Yang. Experimental study on flexural performance of recycled concrete beam[J].Special Structures,2006,23(1):9-12.(in Chinese))

Experimental study on shear behavior of recycled aggregate concrete beams

WU Jin¹, DING Dong-fang², ZHANG Wen¹

(1. College of Aerospace Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. Lianyungang Communication Bureau, Lianyungang 222000, China)

Abstract: Based on comparative tests of eight recycled aggregate concrete beams and four ordinary concrete beams with stirrups, the failure modes, inclined loads and shear bearing capacity of a diagonal section of the recycled concrete beams were investigated. The results show that the compressive strength of the recycled concrete, the shear span-to-depth ratio of the beams, and the reinforcement ratio of the stirrups all have effects on the shear behavior of the recycled concrete beams. The inclined loads of the recycled aggregate concrete beams were lower than those of natural aggregate concrete beams. The shear bearing capacity of recycled concrete beams was 6% – 20% lower than those of the ordinary concrete beams. With a relatively high reinforcement ratio of the stirrups, the shear bearing capacity of the recycled concrete beams was close to that of the ordinary concrete beams; with a relatively low reinforcement ratio of the stirrups, the difference of the shear bearing capacity between them was larger, up to 23%. The shear bearing capacity of the recycled concrete beams decreases with the increase of the shear span-to-depth ratio of the beams. According to the test results, the expressions for the inclined loads and the shear bearing capacity of the recycled concrete beams with stirrups are proposed.

Key words: recycled concrete beam; failure mode; inclined load; shear bearing capacity