

再生砖骨料混凝土梁斜截面抗剪承载力分析

王纯合, 翟爱良, 陈树建, 季昌良, 赵爱华

(山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 实验研究了再生砖骨料混凝土梁斜截面的抗剪极限承载力、破坏形态和裂缝开展等情况, 并与普通混凝土梁进行对比。分析再生砖骨料混凝土梁的抗剪机理, 提出了适用于再生砖骨料混凝土梁的抗剪承载力公式。实验与分析结果表明: 再生砖骨料混凝土梁和普通混凝土梁的破坏形态和裂缝开展情况相似, 但再生砖骨料混凝土梁的抗剪极限承载力低于普通混凝土梁。采用提出的抗剪承载力公式计算再生砖骨料混凝土梁的抗剪极限承载力是可行的, 有一定的安全储备。

关键词: 再生砖骨料; 梁; 斜截面; 抗剪承载力

中图分类号: TV331

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)02-0151-04

Analysis of anti-shear capacity of slope section for recycled brick aggregate concrete beam

WANG Chunhe, ZHAI Ailiang, CHEN Shujian, JI Changliang, ZHAO Aihua

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

Abstract: The paper studied the ultimate bearing capacity, the fracture morphology and the crack development situation of diagonal section of the recycled brick aggregate concrete beam, and contrasted the beam with common concrete one. By analyzing the shear mechanism of the recycled brick coarse aggregate concrete beams, this paper provided a formula related to the shear capacity of recycled brick aggregate concrete beams. The results show that the fracture morphology and crack development of the recycled brick coarse aggregate concrete beam is similar to common concrete beam, but the ultimate bearing capacity is less than that of the common concrete beam. The formula can be used to calculate the bearing capacity of the recycled brick coarse aggregate concrete beam and contains a certain security reserve.

Key words: recycled brick coarse aggregate; beam; diagonal section; anti-shear capacity

0 引言

随着城市化和新农村建设进程的不断加快, 产生了大量的碎砖碎瓦等建筑垃圾, 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、浅层地表水和地下水资源产生严重的污染, 如何对这些建筑垃圾进行回收再利用成为当今研究的热点。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, 多个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, 而对再生砖骨料混凝土梁的抗剪性能研究方面还未见相关报道。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。本次试验就是通过对废砖进行一

定的处理, 制作成再生砖骨料, 然后浇筑成再生砖骨料混凝土梁, 与普通混凝土梁进行对比, 研究再生砖骨料混凝土梁的抗剪性能, 并建立适用于再生砖骨料混凝土梁的抗剪承载力公式。

1 再生砖骨料混凝土梁抗剪机理分析

由于斜截面的破坏形态和构件斜截面承载力有密切的关系, 由实验结果可知, 再生砖骨料混凝土梁和普通混凝土梁破坏形态相同, 破坏过程也大致相似, 故可参照普通混凝土梁的受力状态来分析再生砖骨料混凝土梁的抗剪机理。构件开裂之前混凝土几乎承担全部剪力, 纵筋和箍筋的应变都很低, 当荷载增加时首先出现弯曲裂缝, 当形成弯剪裂缝后, 沿斜裂缝的骨料咬合作作用和纵筋的销栓力参与抗剪,

收稿日期: 2012-12-02; 修回日期: 2012-12-24

基金项目: 山东省自然科学基金项目(2009ZR01879)

作者简介: 王纯合(1989-), 男, 山东枣庄人, 硕士研究生, 研究方向: 主要从事工程鉴定与加固改造研究。

通讯作者: 翟爱良(1963-), 男, 山东成武人, 教授, 主要从事工程鉴定与加固改造研究。

随着腹剪裂缝的出现和发展,当与箍筋相交时,箍筋应变迅速增大,荷载继续增加,个别箍筋首先屈服,临近箍筋也相继屈服。此时斜裂缝开展较快,骨料咬合力减小,而纵筋的销栓力和顶部未开裂混凝土承担的剪力稍有增加。最终,斜裂缝上端的未开裂混凝土达到二轴强度而破坏,纵筋的销栓力往下撕脱两端的混凝土保护层。再生砖骨料混凝土梁破坏时的受力情况见图1。

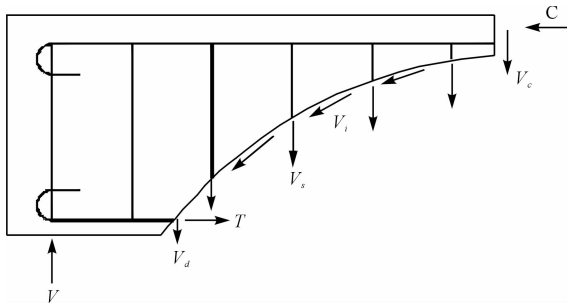


图1 再生砖骨料混凝土梁受力分析图

再生砖骨料混凝土梁的弯剪承载力的主要成分:斜裂缝上端、靠梁顶部未开裂混凝土的抗剪力(V_c)、沿斜裂缝的混凝土骨料咬合作用(V_i)、纵筋的销栓力(V_d),以及箍筋的抗剪力(V_s)。构件极限状态的弯剪承载力可以表示为: $V_u = V_c + V_i + V_d + V_s$ 。从公式可以看出普通混凝土和再生砖骨料混凝土抗剪承载力的差别主要体现在混凝土承担的剪力方面,事实上由于再生砖骨料强度较天然骨料低,使得再生砖骨料混凝土抗剪能力低于普通混凝土,这也是再生砖骨料混凝土梁抗剪承载力略低于普通混凝土梁的原因。

另外,值得指出的是再生砖骨料引起的咬合力与天然粗骨料不同。对于普通混凝土,天然粗骨料的强度远大于水泥石的强度,天然骨料可能突出形成斜裂缝的水泥石的表面,进而阻止斜裂缝两侧相对滑移,而再生砖骨料由于经过水泥浆的处理,表面比较圆滑,斜裂缝表面只有少量的再生砖骨料突出表面,骨料之间的咬合力主要取决于裂缝间摩擦力的大小,因此再生砖骨料混凝土的咬合力小于普通混凝土。

2 再生砖骨料混凝土梁抗剪公式建立

由于梁弯剪性能的影响因素众多,应力状态复杂,裂缝开展的多样和不确定等原因,至今还不具备普遍适用于一般弯剪构件的抗剪极限承载力公式,目前采用较多的计算方法是GB 50010-2010《混凝土结构设计规范》推荐的抗剪强度公式,用半理

论半经验的方法解决受剪承载力的计算问题。表3数据表明,再生砖骨料混凝土梁的抗剪极限承载力低于普通混凝土梁,如果用GB 50010-2010中的抗剪承载力公式计算再生砖骨料混凝土梁的抗剪极限承载力,将偏于不安全,因此需要重新建立适用于再生砖骨料混凝土梁的抗剪承载力公式。

在再生砖骨料混凝土梁抗剪机理探讨中已经指出可以参照普通混凝土梁的受力状态来分析再生砖骨料混凝土梁的抗剪机理,再生砖骨料混凝土梁和普通混凝土梁抗剪承载力的差别主要体现在再生砖骨料混凝土的抗剪强度上,反映到GB 50010-2010抗剪承载力公式中就是混凝土的抗拉强度 f_t 。本文参考GB 50010-2010《混凝土结构设计规范》,并结合再生砖骨料混凝土特点,采用下面公式计算再生砖骨料混凝土梁的极限抗剪承载力:

$$V_{uk}^r = \frac{1.75(1-\alpha r)}{\lambda+1} f_t^r b h_0 + \frac{h_0}{s} A_{sv} f_{sv} \quad (1)$$

式中: r 为再生砖骨料的取代率; α 为再生砖骨料混凝土梁极限承载力降低系数; V_{uk}^r 为再生砖骨料混凝土梁抗剪极限承载力; λ 为剪跨比; h_0 为截面有效高度; s 为沿构件长度方向的箍筋间距; A_{sv} 为配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积; f_{sv} 为箍筋的抗拉强度; f_t^r 为再生砖骨料混凝土轴心抗拉强度。

式中 α 值待定。对于 f_t^r 的确定,文献[5]测定了再生砖骨料混凝土的劈裂抗拉强度,给出了再生砖骨料混凝土的劈裂抗拉强度公式: $f_{sp}^r = 0.19(f_{cu}^r)^{0.75}$,式中 f_{cu}^r 为再生砖骨料混凝土的立方体抗压强度。

3 试验研究

本次试验共浇筑5根梁,其中一根为普通混凝土梁,粗骨料为天然石子,另外4根为再生砖骨料混凝土梁,即用再生砖骨料不同程度的取代天然石子,体积取代率分别为30%、50%、70%、100%。对这5根梁进行加载试验,研究再生砖骨料混凝土梁的抗剪性能。

3.1 再生砖骨料的制备及配合比设计

本次试验选用建筑工地旧房拆除后的废弃砖,实验测定其强度可达到MU10,经人工破碎,筛分制得粒径值分别为5~10mm,10~16mm,16~20mm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、吸水率较高的特点。

本次试验要求每根梁的混凝土处于同一强度等级,由于再生砖骨料孔隙率较高、吸水率较高,每组混凝土的配合比各不相同。本试验以两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两组基准配合比计算得出,配合比设计结果见表 1。

表 1 各试验梁混凝土配合比

kg/m³, %

试件编号	再生砖骨料取代率	水灰比 W/c	砂率	混凝土材料用量				
				水	水泥	砂	天然骨料	再生砖骨料
L ₁	0	0.566	0.37	198.66	333.51	709.50	1204.73	0
L ₂	30	0.621	0.37	220.31	354.72	654.77	843.31	268.48
L ₃	50	0.636	0.37	234.74	368.86	618.29	602.36	447.47
L ₄	70	0.651	0.37	249.17	382.99	581.80	361.42	626.46
L ₅	100	0.670	0.37	270.81	404.20	527.07	0	894.94

对浇筑梁过程中预留的混凝土做成立方体试块和混凝土梁同条件养护 28 d,对钢筋试样进行拉伸试验,得到各自的材料性能见表 2。

表 2 材料性能实测值

%, MPa

混凝土		钢筋			
再生粗骨料取代率	立方体抗压强度标准值 f _{cu}	钢筋类别	屈服强度 f _y	极限强度 f _u	弹性模量 E _s
0	27.3	φ6	510	616	210
30	25.3				
30	25.3				
50	26.8	φ20	376	541	200
70	28.1				
100	26.6				

3.2 试件设计

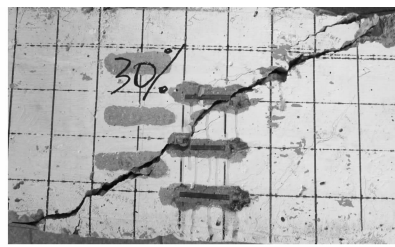
试验取表 1 中的配合比各浇筑一根梁,共 5 根,其中再生砖骨料的取代率分别为 0%、30%、50%、70%、100%,分别编号为 L₁、L₂、L₃、L₄、L₅。各梁的跨度、截面尺寸、剪跨比、配筋率均相同,试验时剪跨比取 2.0,箍筋沿梁全长配置 φ 6@ 200,配箍率为 0.189%,受拉钢筋为 2φ20,配筋率为 1.95%,试件截面尺寸均为 150mm × 250mm × 2100mm。

4 试验结果及分析

从梁的破坏情况可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。每根梁的破坏情况见图 2。



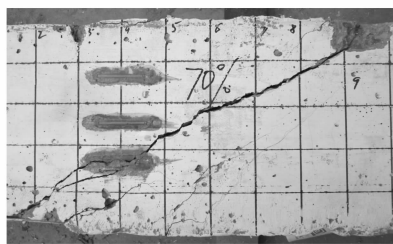
L₁ 梁的破坏情况



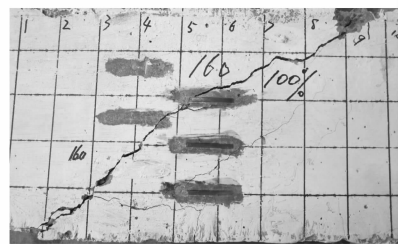
L₂ 梁的破坏情况



L₃ 梁的破坏情况



L₄ 梁的破坏情况



L₅ 梁的破坏情况

图 2 5 根梁的破坏照片

试验数据表明,再生砖骨料混凝土梁的开裂荷载、斜裂缝出现荷载和极限荷载均比普通混凝土梁低,表明再生砖骨料会使混凝土梁的抗剪性能降低,

而破坏时的斜裂缝平均宽度值均比普通混凝土梁高(表 3),并且再生砖骨料替代率越高斜裂缝宽度越大。首先在梁的跨中纯弯段出现受拉裂缝,随着荷

载的增加在弯剪段内出现斜裂缝并向上延伸,倾角逐渐减小。当荷载继续增大时,在距支座约 h_0 处的截面高度中央出现 45° 的斜裂缝,及腹剪裂缝。荷载继续增加后,纯弯段内受弯裂缝的延伸停滞,弯剪段内的弯剪裂缝继续往斜上方延伸,腹剪裂缝则同时像两个方向发展,形成临界斜裂缝。此后,再增大荷载,裂缝的宽度继续扩展,最终加载点附近的截面顶部受压区面积缩减至很小,混凝土在正应力和剪应力的共同作用下,达到二轴抗压强度而破坏。

表3 开裂荷载、斜裂缝出现荷载、极限荷载及

梁的 编号	破坏时斜裂缝平均宽度			破坏时斜裂缝 平均宽度
	开裂 荷载	斜裂缝出 现荷载	极限 荷载	
L_1	44	120	176.8	0.80
L_2	29	70	158.0	1.10
L_3	37	100	172.2	1.10
L_4	35	80	164.2	1.15
L_5	31	80	160.0	1.20

5 α 值的确定及公式(1)的探讨

在第一节再生砖骨料混凝土梁抗剪机理分析中指出由于再生砖骨料混凝土的抗剪强度低于普通混凝土,并且再生砖骨料的骨料之间的咬合力也低于天然骨料,故在计算再生砖骨料混凝土梁的抗剪承载力时需要考虑再生砖骨料的掺量对承载力的影响,对于 α 取值的大小通过实验数据回归分析确定。将本次试验测得的材料实测值,即 $f_{sv} = 510 \text{ MPa}$ 、 $\lambda = 2.0$ 、 $f_{sp}^r = 0.19(f_{cu}^r)^{0.75}$ 等值代入公式(1)进行回归分析,偏于安全的取 $\alpha = 0.4$,从而得到再生砖骨料混凝土有腹筋梁不同再生砖骨料取代率时的抗剪极限承载力公式。将公式(1)得到的计算结果与实测值 V_u 进行对比,结果如表4所示。

表4 再生砖骨料混凝土梁抗剪极限承载力

再生砖骨料 取代率	计算值与实测值对比表			%, kN
	计算结果 $V_{计}$	实测结果 $V_{测}$	实测结果/计算结果 $V_{测}/V_{计}$	
0		176.8		
30	132.92	158.0	1.19	
50	129.42	172.2	1.33	
70	124.88	164.2	1.31	
100	112.29	160.0	1.42	

从表4可以看出再生砖骨料混凝土梁抗剪极限承载力的计算值均小于实测值,其中30%替代率的再生砖骨料混凝土梁的实测结果与计算结果比值较

小,因为30%替代率的再生砖骨料混凝土的立方体抗压强度最低,经分析其原因可能为再生砖骨料取代率范围对再生砖骨料混凝土强度有一定的影响,当取代率较低时,再生砖骨料和天然石子的级配较差,在文献[3,4]中也有类似结论,当然也不排除偶然因素。但总体来说,用公式(1)来计算再生砖骨料混凝土梁是偏于安全的,可以用来初步估算再生砖骨料混凝土梁的抗剪承载能力标准值。

6 结语

(1)再生砖骨料混凝土梁和普通混凝土梁破坏形态相同,均为剪压破坏;抗剪机理也相同,但再生砖骨料混凝土的抗剪强度低于普通混凝土,骨料咬合作用也有差别,致使再生砖骨料混凝土梁的抗剪极限承载力低于普通混凝土。

(2)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低于普通混凝土梁,破坏时的斜裂缝平均宽度大于普通混凝土梁。

(3)再生砖骨料取代率为30%的梁抗剪性能较差,当再生砖骨料取代率超过50%时,再生砖骨料的取代率越高,再生砖骨料混凝土梁的抗剪极限承载力下降的越明显。

(4)用公式(1)估算再生砖骨料混凝土梁的抗剪极限承载力标准值是可行的,有一定的安全储备。至于再生砖骨料的取代率和再生砖骨料混凝土梁的极限抗剪承载力是否呈线性关系仍待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 谢玲君, 翟爱良, 翟文举, 等. 影响烧结砖瓦再生混凝土强度主要因素的试验研究[J]. 混凝土, 2012(5): 70-73.
- [2] 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): 54-58.
- [3] 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): 59-54.
- [4] 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.
- [5] 谢玲君. 废弃烧结砖瓦再生骨料混凝土配制技术与性能研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [6] 过镇海. 钢筋混凝土原理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [7] 张良成, 翟爱良. 混凝土结构[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [8] GB50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.