

文章编号: 1004-4353(2019)01-0055-03

基于 SL 191 的 RAC 梁开裂弯矩计算公式研究

唐佳军, 裴长春*

(延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002)

摘要: 研究了再生混凝土(RAC)梁开裂弯矩的计算公式. 首先分析了 RAC 梁开裂弯矩的影响因素, 然后依据 20 组 RAC 梁的试验数据和《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)给出了 RAC 梁开裂弯矩的计算公式, 最后对该公式进行了验证. 结果表明: RAC 梁的开裂弯矩比普通混凝土梁低, 并随着再生骨料取代率的增加而不断降低; 开裂弯矩修正系数与再生骨料取代率近似呈线性关系; 本文给出的公式计算值与试验值吻合良好.

关键词: 开裂弯矩; 计算公式; RAC; 抗裂性能

中图分类号: TU528

文献标识码: A

Study on calculation formula for cracking moment of RAC beams based on SL 191

TANG Jiajun, PEI Changchun*

(College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: The formula for calculating cracking moment of recycled aggregate concrete (RAC) beams was studied. Firstly, the influencing factors of cracking moment of RAC beams were analyzed. Then, based on the test data of 20 groups of RAC beams and the *Design Code for Hydraulic Concrete Structures* (SL 191—2008), a formula for calculating cracking moment of RAC beams was proposed. Finally, the formula was verified. The results show that the cracking moment of RAC beams is lower than that of ordinary concrete beams, and it decreases with the increase of replacement rate of recycled aggregate. The correction coefficient of cracking moment is approximately linear with replacement rate of recycled aggregate. The calculated value of the formula in this paper is in good agreement with the experimental value.

Keywords: cracking moment; calculation formula; RAC; cracking resistance

资料显示, 2015 年我国建筑垃圾堆放总量已达 70 亿吨^[1], 但其综合利用率不到 5%, 大量的建筑垃圾不仅浪费了土地资源, 也产生了一系列的环境污染问题^[2]. 为了提高废弃物的再利用, 研究者通过再生混凝土(RAC)技术^[3-4]将废弃混凝土加工成再生骨料代替部分或全部天然骨料应用到混凝土当中, 并取得了良好的效果. 目前, 有关 RAC 的相关研究大多集中在其力学性能^[5-7]、抗弯性能^[8-9]和抗剪性能^[10-12]方面, 而对抗裂性能的研究相对较少. 基于此, 本文对 20 组 RAC 梁开

裂弯矩试验数据进行拟合与分析, 并在现行规范的基础上提出 RAC 梁开裂弯矩的计算公式, 并通过实例计算验证本文公式的正确性.

1 影响开裂弯矩的因素分析

影响普通钢筋混凝土梁开裂弯矩的因素主要包括截面尺寸、混凝土强度等级、纵筋配筋率、混凝土保护层厚度等. 影响 RAC 梁开裂弯矩的因素除了上述影响因素之外, 还包括再生骨料的取代率^[13]. 表 1 为文献[14-17]中部分混凝土梁开

收稿日期: 2018-11-20

* 通信作者: 裴长春(1976—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为混凝土结构理论与应用.

裂弯矩的试验数据. 表 1 中, 文献[14]与文献[16]所选试验数据的变量均为再生骨料取代率, 文献[15]中变量为混凝土强度等级与纵筋配筋率, 文献[17]中变量为纵筋配筋率与再生骨料取代率. 由表 1 中的数据可知, 当其他条件相同, 再生骨料

取代率为 0% 时其所对应的开裂弯矩普遍高于其他试验组. 这表明 RAC 梁的开裂弯矩低于普通混凝土梁. 这是因为骨料在制备过程中会产生初始损伤, 出现部分微裂纹, 界面会出现应力集中现象, 从而降低 RAC 的抗裂性能^[18].

表 1 混凝土梁开裂弯矩的试验数据

数据来源	试件编号	截面尺寸/ mm	混凝土强度 等级	纵 筋	配筋率/ %	保护层厚度/ mm	r / %	开裂弯矩/ (kN·m)
文献[14]	NC	150×200	C20	2C18	2.12	20	0	5.30
	RC50	150×200	C20	2C18	2.12	20	50	3.30
	RC100	150×200	C20	2C18	2.12	20	100	3.70
文献[15]	L22	120×200	C25	2B12	1.18	25	100	1.36
	L23	120×200	C25	2B14	1.6	25	100	2.37
	L31	120×200	C30	2B10	0.81	25	100	2.34
	L34	120×200	C30	2B16	2.09	25	100	2.80
文献[16]	PT-3-12	150×300	C40	3C12	0.82	20	0	11.40
	ZS0.3-3-12	150×300	C40	3C12	0.82	20	30	11.90
	ZS0.7-3-12	150×300	C40	3C12	0.82	20	70	11.70
	ZS-3-12	150×300	C40	3C12	0.82	20	100	12.20
文献[17]	NC-14	150×300	C35	2B14	0.77	20	0	11.64
	RC50-14-1	150×300	C35	2B14	0.77	20	50	8.32
	RC50-16-1	150×300	C35	2B16	1.02	20	50	8.45
	RC50-18-1	150×300	C35	2B18	1.29	20	50	9.09
	RC50-20-1	150×300	C35	2B20	1.6	20	50	10.48
	RC100-14-2	150×300	C35	2B14	0.77	20	100	8.22
	RC100-16-2	150×300	C35	2B16	1.02	20	100	8.61
	RC100-18-2	150×300	C35	2B18	1.29	20	100	8.42
RC100-20-2	150×300	C35	2B20	1.6	20	100	8.19	

注: r 为再生骨料取代率; B 和 C 分别表示 HRB335 级、HRB400 级钢筋.

2 开裂弯矩计算公式的拟合

参照《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)^[19], 普通钢筋混凝土单筋矩形截面梁的开裂弯矩计算公式如下:

$$M_{cr} = \gamma_m f_{tk} I_0 / (h - y_0), \quad (1)$$

$$I_0 = (0.0833 + 0.19\alpha_E \rho) b h^3, \quad (2)$$

$$y_0 = (0.5 + 0.425\alpha_E \rho) h. \quad (3)$$

式中: M_{cr} 为钢筋混凝土梁的开裂弯矩; γ_m 为截面抵抗矩塑性系数, 取 1.55; f_{tk} 为混凝土轴心抗拉强度标准值; I_0 为换算截面对其重心轴的惯性矩; y_0 为换算截面重心至受压边缘的距离; α_E 为钢筋弹性模量与混凝土弹性模量之比; ρ 为纵向受拉钢筋配筋率; b 为截面宽度; h 为截面高度.

考虑 RAC 梁的抗裂性能相对较低, 对式(1)进行修正, 得如下修正计算公式:

$$M_{cr,R} = K M_{cr}. \quad (4)$$

式中 $M_{cr,R}$ 为 RAC 梁的开裂弯矩, K 为 RAC 梁开裂弯矩的修正系数(由表 1 计算得出).

将修正系数与再生粗骨料取代率进行拟合, 结果见图 1.

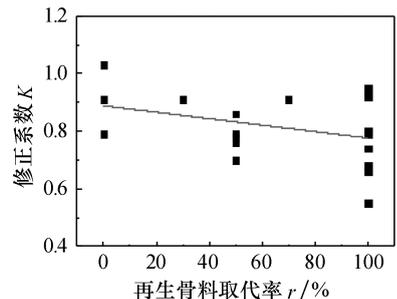


图 1 修正系数与再生骨料取代率的关系

由图 1 可知, 修正系数与再生粗骨料取代率 r 近似呈线性关系, $K = -0.112r + 0.888$, 判定系

数 $R^2 = 0.722$. 这表明,预测结果与试验结果的相关性较好^[20]. 为了方便工程的实际应用,本文将修正系数 K 值取为 0.776,则 RAC 梁开裂弯矩的计算公式变为

$$M_{cr,R} = 0.776\gamma_m f_{tk} I_0 / (h - y_0). \quad (5)$$

3 开裂弯矩计算公式的验证

为了验证式(5)的适用性,将文献[21]中的10组数据试验值与公式(5)的计算值进行对比,结果见表2. 由表2可知,试验值/计算值的平均值为0.976,标准差为0.164,变异系数为0.168. 这一结果说明试验值与计算值吻合良好,公式(5)可用于 RAC 梁开裂弯矩的计算.

表2 开裂弯矩试验值与计算值的对比

试件编号	试验值/ (kN·m)	计算值/ (kN·m)	试验值/ 计算值
L12	3.04	2.60	1.170
L24	4.18	3.63	1.153
L31	2.34	2.88	0.814
L32	3.50	3.27	1.070
L52	3.79	3.62	1.046
L61	1.56	1.98	0.788
L62	2.24	2.10	1.066
L63	2.64	2.53	1.045
L71	2.30	2.80	0.821
L72	2.33	2.94	0.794

4 结论

本文依据20组RAC梁开裂弯矩试验数据和《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008),提出了RAC梁开裂弯矩的计算公式. 研究结果表明:①RAC梁的开裂弯矩低于普通混凝土梁. ②RAC梁开裂弯矩修正系数 K 与再生骨料取代率 r 近似呈线性关系,并且 K 值随着 r 的增大而减小. ③本文得出公式的计算值与试验值吻合度良好,表明本文得出的公式可用于 RAC 梁开裂弯矩的计算.

参考文献:

[1] 肖绪文,冯大阔,田伟. 我国建筑垃圾回收利用现状及建议[J]. 施工技术,2015,44(10):6-8.
 [2] 许成凯,裴长春. 不同有机纤维组合对再生混凝土梁抗裂性影响[J]. 建筑科学,2017,33(1):63-67.
 [3] 宋兵,李佰寿,方中空夹层钢管再生混凝土组合柱传热性能计算分析[J]. 延边大学学报(自然科学

版),2016,42(3):252-256.
 [4] 孙恒,李佰寿. 玻化微珠再生混凝土柱外墙角部位的 P-Temp 计算分析[J]. 延边大学学报(自然科学版),2015,41(4):343-347.
 [5] 刘洋,曾志兴,万超,等. 再生陶瓷粗骨料混凝土碳化后力学性能试验研究[J]. 人民长江,2014,45(12):89-92.
 [6] NEPOMUCENO M C S, ISIDORO R A S, CATTARINO J P G. Mechanical performance evaluation of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates from industrial brick waste[J]. Construction and Building Materials, 2018(165):284-294.
 [7] 陈宗平,占东辉,徐金俊. 再生粗骨料含量对再生混凝土力学性能的影响分析[J]. 工业建筑,2015,45(1):130-135.
 [8] 曹万林,巩晓雪,叶涛萍,等. 不同再生骨料取代率的再生混凝土梁受弯性能试验研究[J]. 自然灾害学报,2017,26(4):10-18.
 [9] MAHDI Arezoumandi, ADAM Smith, JEFFERY S Volz, et al. An experimental study on flexural strength of reinforced concrete beams with 100% recycled concrete aggregate[J]. Engineering Structures, 2015(88):154-168.
 [10] 张丽娟,高丹盈,王丽,等. 钢纤维再生混凝土抗剪性能试验[J]. 土木工程与管理学报,2017,34(2):104-107.
 [11] 吴瑾,丁东方,张闻. 再生骨料混凝土梁抗剪性能试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2010,38(1):83-86.
 [12] 周彬彬,孙伟民,郭樟根,等. 再生混凝土梁抗剪承载力试验研究[J]. 四川建筑科学研究,2009,35(6):16-18.
 [13] 肖建庄. 再生混凝土[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
 [14] 韦锦帆. 再生混凝土梁的抗弯性能试验研究[D]. 北京:北京交通大学,2017.
 [15] 吴瑾,丁东方,杨曦. 再生混凝土梁正截面开裂弯矩分析与试验研究[J]. 建筑结构,2010,40(2):112-114.
 [16] 宋新伟. 再生混凝土梁受弯性能试验研究[D]. 郑州:郑州大学,2006.
 [17] 陈力. 再生粗骨料混凝土梁受弯性能试验研究[D]. 南宁:广西大学,2013.
 [18] 薛丹丹. 钢-聚丙烯混杂纤维再生混凝土梁抗裂性能试验研究[D]. 延吉:延边大学,2015.
 [19] SL 191—2008 水工混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
 [20] 李孝忠,王庆贺,王玉银,等. 再生混凝土抗折强度的影响因素及其计算方法[J]. 建筑结构学报,2019,40(1):155-164.
 [21] 徐广舒. 再生混凝土梁正截面开裂弯矩试验研究[J]. 混凝土,2012(6):53-56.