文章编号:1001-7445(2011)03-0518-07

建筑垃圾再生粗细骨料对混凝土强度的影响

邱树恒[1],王 军[1],冯庆革[2],朱惠英[3],李 贞[1],罗必圣[1]

(1. 广西大学 化学化工学院,广西 南宁 530004;2. 广西大学 环境学院,广西 南宁 530004;
3. 广西建筑科学研究设计院,广西 南宁 530004)

摘要:采用建筑垃圾制成的再生粗细骨料配制再生混凝土,研究不同水灰比和再生粗细骨料不同的取代掺量时,新拌再生混凝土的表观密度和7 d、28 d、90 d再生混凝土的抗压强度。研究结果表明,新拌再生混凝土的表观密度与再生骨料掺量具有较好的线性关系;水灰比为0.55时,再生混凝土各龄期的抗压强度值较低,其90 d的抗压强度最低,但仍能达到基准混凝土强度的91.5%;水灰比为0.35时,各龄期再生混凝土的强度较高,甚至会超过基准混凝土的抗压强度值,90 d时再生混凝土的强度最高,可达到基准混凝土强度的106.2%。

关键词:再生骨料;再生混凝土;建筑垃圾;抗压强度;表观密度

中图分类号:TU528.59 **文献标识码**:A

Experimental study on influence of recycled coarse and fine aggregates from construction waste on compressive strength of concrete

QIU Shu-heng[1], WANG Jun[1], FENG Qing-ge[2], ZHU Hui-ying[3], LI Zheng[1], LUO Bi-sheng[1]

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;
2. College of Environment, Guangxi University, Nanning 530004, China;
3. Guangxi Institute of Building Research and Design, Nanning 530004, China)

Abstract: The recycled concrete was prepared from recycled coarse and fine aggregates made from construction waste. The apparent density and compressive strength of the recycled concrete prepared with different water-cement ratio and content of recycled coarse and fine aggregates were investigated at the age of 7 d, 28 d and 90 d. The results showed that the apparent density was linearly proportional to the recycled aggregates in mathematics; when the water-cement ratio was 0.55, the compressive strength of recycled concrete at each age were lower than the reference, with the 90-day being the lowest at 91.5% of the reference; when the water-cement ratio was 0.35, the compressive strength of recycled concrete at each age were higher than the reference, with the 90-day being the highest at 106.2% of the reference.

收稿日期:2011-04-22;**修订日期**:2011-05-03

基金项目:广西科学研究与技术开发计划(桂科攻0861001-1)

通讯联系人:邱树恒(1961-),男,广西贵港人,广西大学教授;E-mail:wujicl@126.com。

环卫科技网 www.cn-hw.net

万方数据

Key words: recycled aggregate; recycled concrete; construction waste; compressive strength; apparent density

随着建筑行业的迅猛发展,建筑物的建造、使用和拆除过程中产生的建筑垃圾也与日剧增,其中较大部分来自废弃混凝土。我国混凝土垃圾 2010 年达到 2.39×10^9 t,预计 2020 年将达到 6.38×10^9 t,平均以每年 8% 的量增长[1-2]。对废弃混凝土进行回收利用不仅是时代所需,而且对于保护环境、节约资源、发展生态建筑具有重要意义。目前,许多国家对建筑垃圾的回收利用进行了积极的研究和开发应用,并制定了相应的技术规范[3-5]。国内在这方面的研究较为滞后,迄今虽然也取得了一些的成果,并在部分工程实践中得到了一定应用[6-7],但这些研究大都是选用传统的破碎工艺得到的再生骨料,它们具有高的吸水率和压碎指标的特点,使得同条件下的混凝土强度偏低。本文采用机械磨削工艺生产再生骨料并用于制备再生混凝土,研究不同再生粗、细骨料取代率对再生混凝土抗压强度的影响,对推广和实际应用具有一定的指导意义。

1　实　验

1.1　原材料

水泥:扶绥新宁海螺水泥有限责任公司生产的 P. O42. 5 水泥,其物理力学性能数据见表 1。

减水剂:萘系高效减水剂,固含量 30. 17% 。

骨料:天然骨料均来自广西大都混凝土集团有限公司,经清洗处理后表面含泥量可忽略,其中天然粗骨料粒径 5 ~ 20 mm,天然细骨料为细砂,粒径 0. 16 ~ 5 mm,Ⅲ区级配;再生骨料采用南宁市内某道路拆除时的废弃混凝土,强度 25 ~ 35 MPa,原生粗骨料为碎石,经颚式破碎机破碎、机械研磨、人工筛分、清洗而得,含泥量可忽略,其中再生粗骨料粒径 5 ~ 20 mm,再生细骨料属粗砂,粒径 0. 16 ~ 5 mm,Ⅰ区级配。机械磨削工艺处理后的再生细骨料经人工分级、清洗后其微细粉的含量很少,主要为磨削力产生的碎石和砂浆颗粒。骨料的物理性质和级配曲线分别见表 2 和图 1。

表 1　水泥的物理及力学性能

Tab. 1　Physical and mechanical properties of cement

比表面积/($m^2\cdot kg^{-1}$)	标准稠度/%	细度(0.045 mm 筛余)/%	初凝时间/min	终凝时间/min	安定性(煮沸法)	力学性能			
						抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
						3 d	28 d	3 d	28 d
362	27.6	0.4	154	214	合格	5.7	9.5	25.8	60.0

表 2　骨料物理性质

Tab. 2　Physical properties of aggregates

骨料类型	24 h 吸水率/%	表观密度/($kg\cdot m^{-3}$)	堆积密度/($kg\cdot m^{-3}$)	紧密密度/($kg\cdot m^{-3}$)	空隙率/%		细度模数	针片状含量/%	压碎指标/%
					v_L	v_C			
天然粗骨料	0.45	2 710	1 420	1 660	47.6	38.7	—	6.5	11.4
天然细骨料	3.21	2 650	—	—	—	—	2.2	—	—
再生粗骨料	1.97	2 680	1 340	1 540	45.2	37	—	3.3	10.6
再生细骨料	4.32	2 590	—	—	—	—	3.3	—	—

环卫科技网 www.cn-hw.net

万方数据

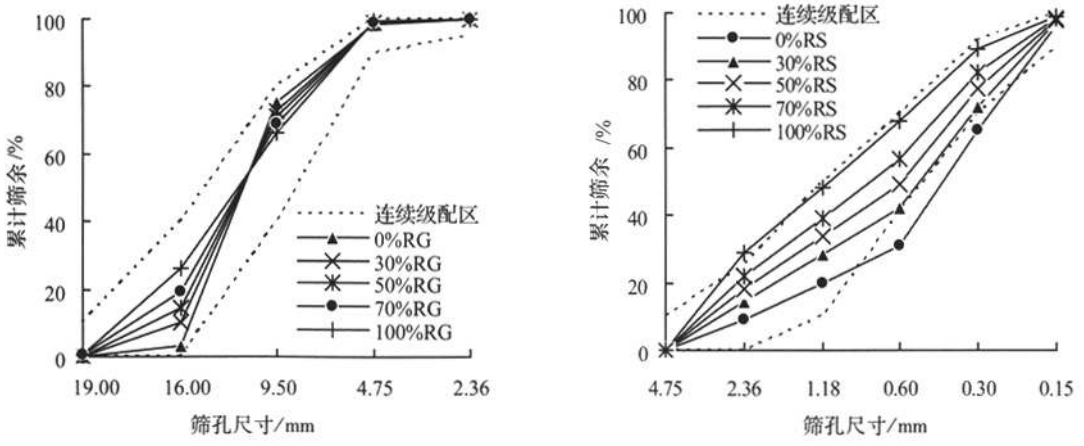
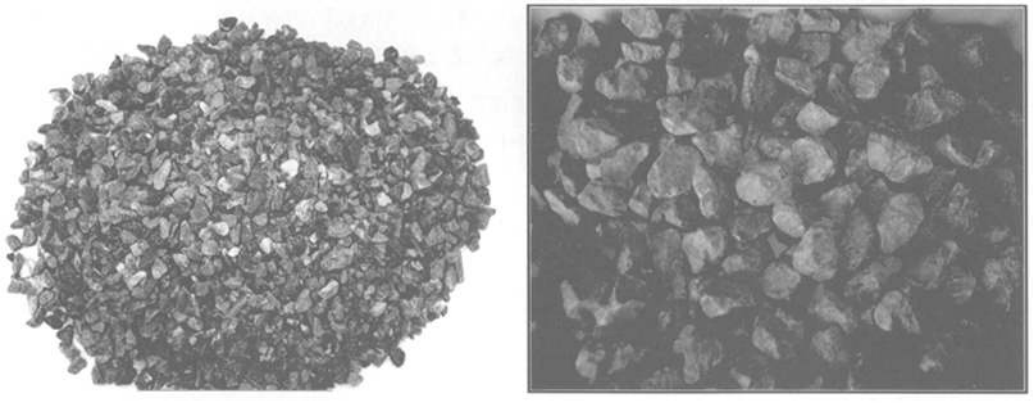


图1 骨料级配曲线

Fig. 1 Continous grading cruve of aggregates

由表2可知,再生骨料与天然骨料的物理性质存在较大差异,突出表现在再生骨料具有高的吸水率和低的表观密度、堆积密度、紧密密度、空隙率的特点,而且机械磨削处理后的再生粗骨料的压碎指标较低。参考日本关于再生骨料品质标准[8],本工艺制得的为Ⅱ级再生骨料。由图1可见,天然和再生粗骨料以及按不同掺量混合后的粗骨料均在连续级配范围内,而按不同掺量混合后的细骨料在Ⅱ区级配范围内。值得注意的是,本工艺制得的再生粗骨料粒形浑圆,表面附含大量砂浆,研磨过程中淘汰了大量软质和粒形不良的颗粒,见图2。



(a) (b)

图2 天然与再生骨料照片

Fig. 2 Photos of natural and recycled aggregates

(a) 天然骨料;(b) 再生骨料

1.2 混凝土配合比

本研究重点考察再生粗、细骨料取代率对再生混凝土强度的影响,再生粗、细骨料掺量分别为0、30%、50%、70%、100%和0%、30%、50%、70%。分别配制C30和C60两种混凝土,配合比见表3。砂率37%,控制坍落度(180±10)mm。由于再生骨料与天然骨料间吸水率的较大差异,为保证拌合物具有同样的工作性能,以饱和状态下的物料为基准进行配合比设计,用附加水补充物料达到饱和时所需水量,饱和状态下的理论水灰比不变。

万方数据

表 3　混凝土配合比[1]

Tab. 3　Mix proportion of concrete

编号	掺量/%	W/C	单位体积材料用量/(kg·m^{-3})						坍落度/mm
			水泥	粗骨料	细骨料	拌合水	附加水	减水剂	
N1	0	0.55	318	1220NG	686NS	175	28	4	185
RG13	30RG	0.55	318	854NG + 366RG	686NS	175	24	4	180
RG15	50RG	0.55	318	610NG + 610RG	686NS	175	27	4	190
RG17	70RG	0.55	318	366NG + 854RG	686NS	175	36	4	187
RG110	100RG	0.55	318	1220RG	686NS	175	38	4	180
RS13	30RS	0.55	318	1220NG	480NS + 206RS	175	43	5	180
RS15	50RS	0.55	318	1220NG	343NS + 343RS	175	25	5	186
RS17	70RS	0.55	318	1220NG	206NS + 480RS	175	24	5	180
N2	0	0.35	500	1136NG	640NS	175	26	7	190
RG23	30RG	0.35	500	795NG + 341RG	640NS	175	21	9	173
RG25	50RG	0.35	500	568NG + 568RG	640NS	175	21	9	178
RG27	70RG	0.35	500	341NG + 795RG	640NS	175	22	9	185
RG210	100RG	0.35	500	1136RG	640NS	175	23	8	183
RS23	30RS	0.35	500	1136NG	448NS + 192RS	175	19	10	175
RS25	50RS	0.35	500	1136NG	320NS + 320RS	175	17	9	173
RS27	70RS	0.35	500	1136NG	192NS + 448RS	175	21	9	182

1. 配合比中粗细骨料用量为未包括其含水率的净重;NG、NS 分别表示天然粗、细骨料,RG、RS 分别表示再生粗、细骨料(下同);再生骨料掺量采用等质量取代。

1.3　搅拌与养护

各组混凝土拌合物的搅拌方法参考日本冈村甫教授提供的搅拌程序[9],搅拌设备为 50 L 的搅拌机,前 30 s 加入水泥和细骨料,然后加入 80% 的用水量和减水剂搅拌 90 s,最后加入粗骨料和余下的水量和减水剂再搅拌 90 s。坍落度控制用减水剂调整,完毕后立即测定拌合物的坍落度,装模成型,养护条件为水养,温度(20 ±2) ℃。

1.4　实验方法

骨料物理性质的检测依据 JGJ52 -2006《普通混凝土用砂、石质量及检测方法标准》进行,混凝土拌合物性能试验按照 GB/T50080 -2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行,混凝土力学性能试验采用 GB/T50081 -2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行。试件采用 100 mm × 100 mm × 100 mm。

2　实验结果与讨论

在新拌再生混凝土配制过程中,笔者在测定完坍落度后,又对其表观密度进行了测试,随后检测不同再生粗、细骨料掺量下各龄期的混凝土的抗压强度,抗压强度均乘以 0.95 的折算系数。结果见表 4。

环卫科技网 www.cn-hw.net

万方数据

表4 新拌再生混凝土的表观密度和抗压强度[1]

Tab. 4 Apparent density and compressive strength of new recycled concrete

编号	掺量/%	W/C	表观密度/(kg·m^{-3})	抗压强度/MPa			抗压强度相对百分比		
				7 d	28 d	90 d	$\frac{R_{7x}}{R_7}$/%	$\frac{R_{28x}}{R_{28}}$/%	$\frac{R_{90x}}{R_{90}}$/%
N1	0	0.55	2 440	23.6	33.2	40.2	100	100	100
RG13	30RG	0.55	2 430	21.3	31.4	37.1	90.3	94.8	92.4
RG15	50RG	0.55	2 412	19.2	28.8	37.4	81.5	91.5	93.1
RG17	70RG	0.55	2 391	20.9	30.7	37.6	88.7	92.6	93.6
RG110	100RG	0.55	2 382	20.4	30.8	39.0	86.7	92.8	97.2
RS13	30RS	0.55	2 438	22.7	30.3	36.8	96.4	91.4	91.5
RS15	50RS	0.55	2 436	21.1	27.8	37.6	89.5	84.0	93.6
RS17	70RS	0.55	2 432	20.6	29.4	37.2	87.5	88.5	92.7
N2	0	0.35	2 459	42.8	55.2	70.9	100	100	100
RG23	30RG	0.35	2 436	42.7	55.1	65.4	99.6	99.8	92.2
RG25	50RG	0.35	2 425	44.5	55.5	72.7	103.8	100.5	102.5
RG27	70RG	0.35	2 402	44.5	55.5	71.7	103.8	100.5	101.2
RG210	100RG	0.35	2 375	40.5	55.0	67.2	94.5	99.7	94.8
RS23	30RS	0.35	2 456	49.8	57.1	75.2	116.2	103.5	106.2
RS25	50RS	0.35	2 451	44.9	50.3	73.0	104.9	91.0	102.9
RS27	70RS	0.35	2 449	45.4	50.4	72.6	106.0	91.2	102.4

1. R_7、R_{28}、R_{90}分别代表7 d、28 d、90 d的基准抗压强度;R_{7x}、R_{28x}、R_{90x}分别代表掺再骨料的7 d、28 d、90 d的抗压强度。

2.1 表观密度

在相同配合比、坍落度的情况下,新拌混凝土拌合物的表观密度在高、低水灰比(W/C=0.55、0.35)下随再生粗细骨料掺量分别呈现不同的规律。由图3可见,随着掺量的加大,高、低水灰比情况下的表观密度均降低,经拟合后,表观密度与再生粗、细骨料掺量间的线性关系十分明显,尤其是低水灰比下,线性相关系数R^2均超过0.96。掺再生细骨料时,二曲线近似平行,且降低幅度在10 kg/m^{3}范围内;掺再生粗骨料时,水灰比越小则降低幅度越大。因此,可认为不加任何掺合料下的新拌再生混凝土的表观密度随再生粗骨料掺量的增加而呈规律性的降低,水灰比越小,降低幅度越大,而再生细骨料对其影响微弱。表观密度降低的原因可从再生骨料本身来解释。机械磨削处理制得的再生骨料表面附含较多砂浆,疏松多孔,含水率也较高,其密度小于天然骨料,随着掺量的增加,拌合物的整体密度必然会随之下降。

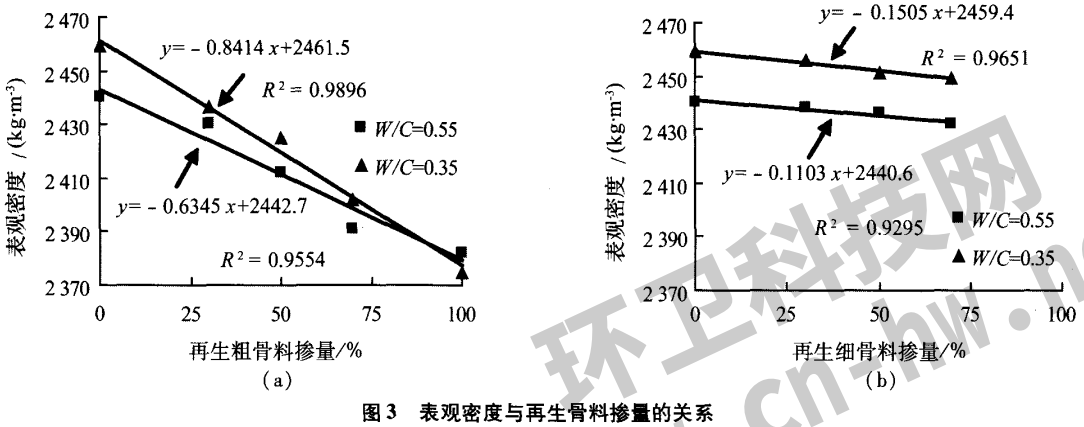


图3 表观密度与再生骨料掺量的关系

Fig. 3 Relationships with apparent density and content of recycled aggregates

环卫科技网 www.cn-hw.net

万方数据

2.2　抗压强度

根据实验结果,可分别画出两种水灰比下混凝土的抗压强度与再生粗细骨料掺量的关系图,如图 4 和图 5 所示。

从表 4 和图 4 可以看出,当 $W/C=0.55$ 时,掺再生骨料混凝土的抗压强度均低于基准混凝土的强度,但降幅较小。28 d 时,掺再生粗骨料混凝土的抗压强度最高可达到基准混凝土强度的 94.8%,最低为 91.5%;掺再生细骨料混凝土的抗压强度最高可达 91.4%,最低为 84.0%,降幅比较明显。到 90 d 时,掺再生粗骨料混凝土的抗压强度最高可达基准混凝土强度的 97.2%,最低为 92.4%;掺再生细骨料混凝土的抗压强度最高达 93.6%,最低也有 91.5%。说明高水灰比时,再生细骨料对强度的影响较大。

从表 4 和图 5 可见,当 $W/C=0.35$ 时,掺再生粗骨料混凝土的 28 d 抗压强度,最高可达基准混凝土强度的 100.5%,最低也达 99.7%;90 d 时最高可达到基准混凝土强度的 102.5%,最低仍保持 92.2%(再生粗骨料掺量为 30% 和 100% 时各龄期的强度较低)。掺再生细骨料混凝土的 28 d 抗压强度,最高达到基准混凝土强度的 103.5%,最低为 91.0%;90 d 抗压强度,最高达到基准混凝土强度的 106.2%,最低为 102.4%(再生细骨料掺量为 30% 时,各龄期再生混凝土的强度较高)。结果说明,再生骨料的取代掺量和水灰比是影响再生混凝土强度的两个重要的因素。低水灰比时,再生粗、细骨料对再生混凝土强度的影响较小,掺量合适时甚至可获得比基准混凝土更高的抗压强度。综合以上的试验结果可知,高、低水灰比时各再生粗、细骨料的取代掺量下,再生混凝土的 90 d 抗压强度值均不低于基准混凝土强度的 91%。

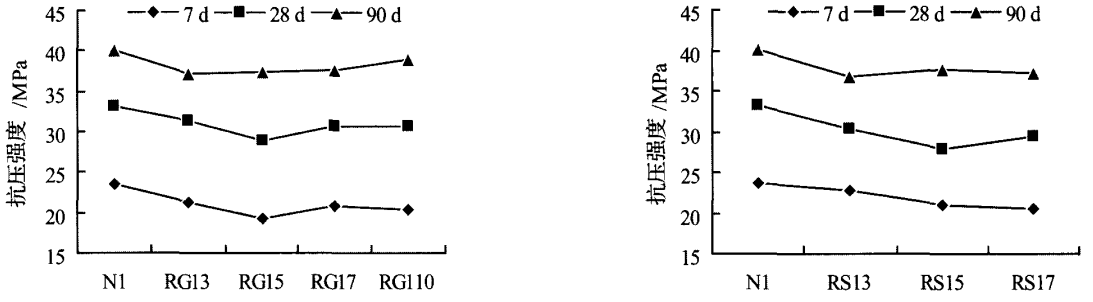


图 4　$W/C=0.55$ 再生混凝土的抗压强度与再生粗、细骨料掺量的关系

Fig. 4　Relationships with compressive strength of recycled concrete and content of recycled aggregates in $W/C=0.55$

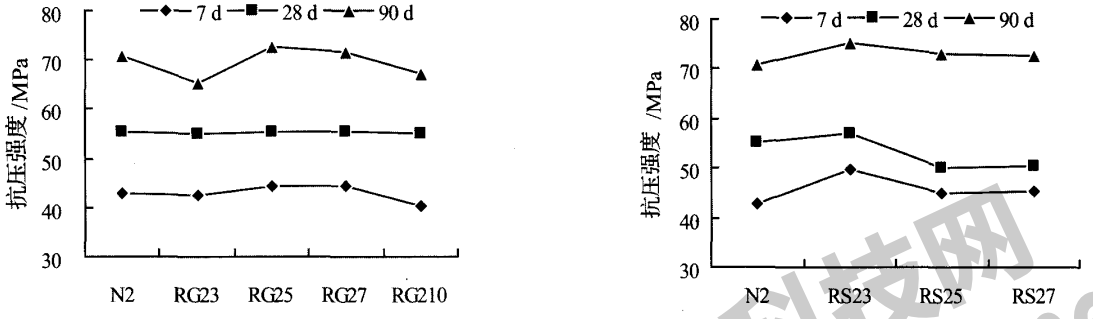


图 5　$W/C=0.35$ 再生混凝土的抗压强度与再生粗、细骨料掺量的关系

Fig. 5　Relationships with compressive strength of recycled concrete and content of recycled aggregates in $W/C=0.35$

2.3　再生骨料性质对抗压强度影响的分析

考虑到混凝土的离散性以及实验过程中的一系列误差和数据的局限性,从以上结论可知,试验结果较好地反映了再生骨料对混凝土抗压强度的影响规律性的一面。混凝土是同骨料、水泥石与界面过渡

环境科技网 www.cn-hw.net

万方数据

层三相复合而成的复杂体系,从强度发展来看,当骨料强度远低于水泥石强度时,混凝土强度主要由界面和水泥石强度支撑,反之则主要由骨料和水泥石支撑。

由于再生骨料高的吸水率和吸水速度,混凝土在配制过程中,为保证一致的工作性能,附加了其达到饱和状态所需要的水量,使得实际用水量增加,这无疑增加了过渡区的水膜厚度,使有效水灰比更高,水泥水化过程中除了产生C—S—H,还有大量稳定性极差的游离$Ca(OH)_2$容易在水泥石和集料界面处富集并形成粗大晶粒,成为强度最薄弱的环节,削弱与骨料的粘结力,同时再生骨料孔隙率高,承受轴向力容易形成应力集中,且水化过程中随龄期的增长伴随较大的体积收缩,尤其是当再生细骨料掺量较大时,因而0.55水灰比下强度会降低;而表面附着的砂浆再生骨料亲水性强,能很快被湿润,吸附的新的水泥颗粒也能填补破碎和研磨带来的缺陷,加速界面区的水化,促使形成更加致密的结构,增强界面粘结力。此外,石块在研磨破碎中沿纹理开裂,形成新的粗糙表面,增加了棱角效应,且淘汰了软质和粒形不良的颗粒,粒形浑圆,对强度发展均十分有利,同时再生骨料吸附的水分在水化后期也会参与水化反应。值得一提的是,再生粗骨料的压碎指标低于天然粗骨料的,再生粗骨料的强度高于天然骨料的。这些因素的共同作用,使得0.35水灰比下,掺RS混凝土的90 d强度均高于基准混凝土的,掺RG混凝土的90 d强度不低于基准的92%,最高达到102.5%。

3 结 论

① 在相同配合比、坍落度的情况下,高、低水灰比($W/C=0.55$、0.35)时新拌再生混凝土的表观密度与RG、RS掺量均具有较好的线性关系,低水灰比时线性关系更明显。

② 高水灰比时,掺RG、RS均使混凝土抗压强度呈现负增长,但降低幅度不大;再生混凝土28 d平均抗压强度可达基准混凝土强度的90.8%,90 d平均抗压强度可达基准混凝土强度的93.4%。

③ 低水灰比时各龄期再生混凝土抗压强度明显高于高水灰比的;RG掺量为50%和70%时,再生混凝土3个龄期的抗压强度均高于基准混凝土的;掺RS的再生混凝土90 d抗压强度也均高于基准混凝土的,说明低水灰比时,再生细骨料对强度的影响较为显著。

④ 本研究用建筑垃圾制成的再生骨料可用于取代天然骨料来配制再生混凝土。

参考文献:

[1] SHI Jian-guang, XU Yue-zhou. Estimation and forecasting of concrete debris amount in China[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2006, 49(2): 147-158.

[2] LI Xu-ping. Recycling and reuse of waste concrete in China: Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2008 (53): 36-44.

[3] 陆凯安. 中国建筑垃圾的现状与综合利用[J]. 施工技术, 1999 (5): 44-45.

[4] 常纪文. 我国循环经济法制建设存在的问题及其对策[J]. 红旗文稿, 2004 (16): 29-31.

[5] 王罗春. 建筑垃圾处理与资源化[M]. 北京: 化学工艺出版社, 2004: 2-3.

[6] 杜婷, 李惠强, 郭太平, 等. 废弃混凝土再生骨料应用的经济性分析[J]. 新型建筑材料, 2006(6): 30-33.

[7] 冷发光, 何更新, 张仁瑜, 等. 国内外建筑垃圾资源化现状及发展趋势[J]. 环境卫生工程, 2009, 17(1): 34-35.

[8] 刘数华, 冷发光. 再生混凝土技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2007: 24.

[9] 冈村甫, 前川宏一, 小泽一雅. ハイパフオ ーマス コンクリート[M]. 东京: 技報堂出版, 1993: 46-47.

(责任编辑 张晓云 裴润梅)

环卫科技网 www.cn-hw.net

万方数据