

再生骨料掺量对再生混凝土性能和强度的影响

姜楠 徐清 张伟

(昆明理工大学建筑工程学院, 昆明 650224)

摘要 通过试验表明:用再生骨料部分或全部替代天然碎石配制再生混凝土时,其工作性能和强度与普通混凝土不同,系统研究了在水灰比相同的情况下,再生骨料掺量对混凝土基本性能的影响。结果表明:对于工作性能而言,随着再生骨料掺量的增加,新拌混凝土的流动性变差,而黏聚性和保水性变好,对于强度而言,存在一个合理掺量,再生骨料掺量在50%左右,对强度有利。

关键词 再生骨料 再生混凝土 工作性能 强度 替代率

中图法分类号 TU528.04; **文献标志码** B

随着全球化天然骨材资源的日趋枯竭,以及建筑垃圾与日俱增所带来的一系列环境问题,国内外一直将废弃混凝土的回收利用作为建筑垃圾回收利用研究的焦点^[1]。

再生混凝土技术是利用旧建筑物拆下来的废弃的混凝土,经过破碎、清洗、筛分后再按一定的比例互相配合,得到的骨料称为“再生骨料”^[2] (Recycled Aggregate),部分或全部替代天然骨料配制新的混凝土的技术,所形成的新的混凝土称为“再生混凝土”(Recycled Concrete),又称为“再生骨料混凝土”(Recycled Aggregate Concrete)。

再生混凝土技术实现了建筑材料、尤其是建筑垃圾的回收利用,能够解决一定程度的环境问题,同时具有较好的社会与经济效益,使建筑与生态环境得到了可持续协调发展,被认为是发展绿色生态混凝土的主要措施之一^[3,4]。

系统研究了在混凝土采用相同水灰比的情况下,再生骨料掺量对混凝土工作性能及强度的影响及变化规律,并分析了产生这些变化规律的原因,为进一步提高再生混凝土的性能和推广再生混凝

土的应用打下了基础^[5]。

1 试验

1.1 试验原材料

1.1.1 水泥

本文试验所用水泥为云南国资水泥生产的P·O52.5普通硅酸盐水泥,存放地点要求干燥通风。具体性能指标见表1及表2。

表1 水泥的物理性质

	项目	实测值	国家标准
	密度/(g·cm ⁻³)	3.10	
	细度/(0.08 mm 方孔筛筛余率)/ %	6.0	<10%
	标准稠度用水量/ %	27.5	24—28
	体积安定性	合格	合格
凝结时间	初凝/ min	176	>45
	终凝/h:min	3:55	<10
强度等级	抗压强度/ MPa	27.9	22
	抗折强度/ MPa	5.6	4.0
	抗压强度/ MPa	60.8	52.5
龄期	抗折强度/ MPa	8.9	7.0
	28 天		

2010年4月9日收到

第一作者简介:姜楠(1986—),女,山东青岛人,研究生。研究方向:新型建筑材料。E-mail:prettyjiangnan@126.com。

表 2 水泥化学成分/%

种类	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	TiO ₂	烧失量
P·OS	20.89	5.21	3.32	1.21	59.86	2.98	0.52	1.15
2.5								

1.1.2 细骨料

试验所用细骨料全部采用人工砂。粒径小于 5 mm, 细度模数 $M_x = 2.6$, 属中砂, II 类级配区。筛析结果及物理性能指标分别见表 3 和表 4。

表 3 人工砂的筛析结果

筛孔尺寸/mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.30	0.15
II类级配区要求/%	0	0—10	0—25	10—50	41—70	70—92	90—100
第一次累计筛余率/%	0	0.5	11.9	41.9	65.1	80.3	92.5
第二次累计筛余率/%	0	0.7	13.5	43.1	67.5	83.9	91.2

注: 样品重 500 g

表 4 人工砂的物理性能指标

类别	表观密度/ (kg·m ⁻³)	堆积密度/ (kg·m ⁻³)		孔隙率/%		细度 模数 M_x
		松散	紧密	松散	紧密	
人工砂	2 660	1 550	1 820	41.7	31.6	2.6

1.1.3 粗骨料

试验所用粗骨料为再生骨料和天然粗骨料两部分, 其中再生骨料为昆明理工大学综合实验室废弃 C40 试件作为原生混凝土, 经人工破碎, 清洗, 筛分, 再按一定的比例配合制得, 天然粗骨料为昆明建材石场产碎石, 粒径为(5~25) mm, 材料均处于干燥状态。具体技术指标见表 5。

表 5 试验用粗骨料技术指标

粒径 / mm	品种	表观密度/(kg·m ⁻³)	堆积密度/(kg·m ⁻³)	孔隙率/%	含泥量/%	压碎指标/%	吸水率/%	针片含量/%
5~25	碎石	2 760	1 870	32.2	0.3	6.5	2.5	2.85
再生粗骨料		2 690	1 790	33.5	0.6	11.2	6.8	1.83

再生粗骨料表面粘附有砂浆和水泥素浆, 或者有少量的硬化砂浆单独成块, 杂质较多, 同时再生骨料在破碎时会产生较多的棱角, 内部也会产生大量的微裂纹, 使骨料表面的粗糙度增大。因此, 与天然粗骨料相比, 再生骨料具有密度低, 孔隙率高, 压碎指标大, 吸水率高等特性。

1.1.4 拌合水

试验所用拌合水为昆明市饮用自来水。

1.1.5 减水剂

试验所用减水剂为 HF 聚羧酸盐高效减水剂。

1.2 再生骨料混凝土配合比设计

试验按 C40 强度等级要求设计再生混凝土的配合比, 试验所用再生骨料表面未经处理, 采用 0.39 水灰比。考虑 5 组再生骨料取代率, 即: 0%, 25%, 50%, 75%, 100%, 分别记为 RC—0, RC—25, RC—50, RC—75, RC—100, 其中, RC—0 为普通混凝土, 作为对比混凝土, 各组混凝土的配合比见表 6。

表 6 改变再生骨料取代率的试验配合比/(kg·m⁻³)

试验号	水泥	人工砂	天然粗骨料	再生粗骨料	水	水灰比	再生粗骨料取代率/%	
							粗骨料	减水剂
RC—0	390	720	1 226	0	152	0.39	0	4.0
RC—25	390	720	920	306	152	0.39	25	4.0
RC—50	390	720	613	613	152	0.39	50	4.0
RC—75	390	720	306	920	152	0.39	75	4.0
RC—100	390	720	0	1 226	152	0.39	100	4.0

1.3 试件的成型

所用混凝土搅拌设备为一台容量 50 L 的搅拌机。投料顺序为首先加入砂和水泥搅拌至均匀,再加入粗骨料,最后加入水,搅拌(3—5) min 后,测量其坍落度(约为 35 mm—50 mm)。坍落度试验完毕后,将混凝土拌合物注入钢模,并人工插捣密实,用刮刀插实周边,抹平表面,24 h 后拆模,立即放入养护室,在标准条件下养护 28 d 后,取出进行试验,所用试件均为一批浇筑完成。

1.4 试验方法

抗压强度试验试件规格为 100 mm × 100 mm × 100 mm(试验结果已乘 0.95 换算系数),按照 GB/T 50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法》进行和 GB/T 50080—2002《普通混凝土拌合物性能试验方法》进行。

2 试验结果与讨论

2.1 再生骨料取代率对新拌混凝土工作性能的影响

根据选定的混凝土配合比(在保持相同的水灰比条件下)配制再生混凝土,所用的再生骨料表面未经过处理,分析再生骨料取代率的变化对再生混凝土坍落度的影响。测得再生混凝土的坍落度值如表 7,再生骨料取代率与坍落度的关系如图 1。

表 7 表面未经处理的再生骨料取代率试验坍落度值/mm

试验号	RC—0	RC—25	RC—50	RC—75	RC—100
坍落度	46	37	26	22	20

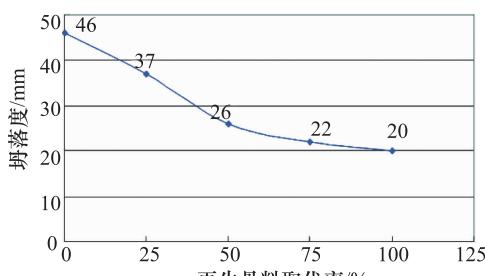


图 1 表面未经处理的再生骨料取代率与坍落度的关系

由实验现象分析可知,在水灰比一定的情况下,再生混凝土实测的坍落度随着再生骨料取代率的增加而逐渐变小,即流动性降低。当再生骨料取代率为 50% 以上时,坍落度下降较多,严重影响了再生混凝土的和易性。当再生骨料的取代率为 0% 时,即混凝土中的粗骨料全部为天然碎石,再生混凝土的坍落度为 46 mm,黏聚性和保水性较差,有少量的泌水和离析现象,流动性较高,而当再生骨料取代率为 100% 时,即混凝土中的粗骨料全部为再生骨料时,再生混凝土的坍落度仅为 20 mm,黏聚性和保水性好,没有任何泌水和离析现象,流动性偏低。因为再生骨料外表面粘附有大量的水泥砂浆,并且废弃混凝土破碎时骨料内部产生部分裂缝,从而表现为较一般碎石大的吸水率,亲水性较强,并且由于再生骨料表面粗糙,孔隙率大,在混凝土拌合过程中吸收了部分水份,从而明显地影响了再生混凝土的和易性。因此,由以上分析可知,再生混凝土的流动性随着再生骨料取代率的增加而逐渐降低,但黏聚性和保水性得到改善,泌水和离析现象减少。

2.2 再生骨料取代率对再生混凝土强度的影响

根据选定的配合比(在相同的水灰比条件下)配制再生混凝土,用表面未经处理的再生骨料成型试件,分析再生骨料取代率的变化对再生混凝土强度的影响,分别检测其 7 d 和 28 d 抗压强度,检测结果见表 8,并绘制出强度发展规律图 2。

表 8 再生骨料不同取代率 7 d,28 d 抗压强度/MPa

试验号	RC—0	RC—25	RC—50	RC—75	RC—100
7 d	30.5	32.3	33.4	32.4	31.2
28 d	45.3	47.5	49.8	48.6	47.2

由图 2 可知:再生混凝土的抗压强度并不是随着再生骨料的增加而呈现单调的变化趋势,而是存在一个最佳掺量(约在 50% 左右),当再生骨料掺量在 50% 以内时,再生混凝土各龄期的抗压强度均较基准的混凝土高,试验中 7 d 抗压强度最高可提高 9.5%,28 d 抗压强度最高可提高 9.9%,而当再生骨料取代率超过 50% 时,早期强度和后期强度均有明显地下降趋势,两者基本呈现线性关系。

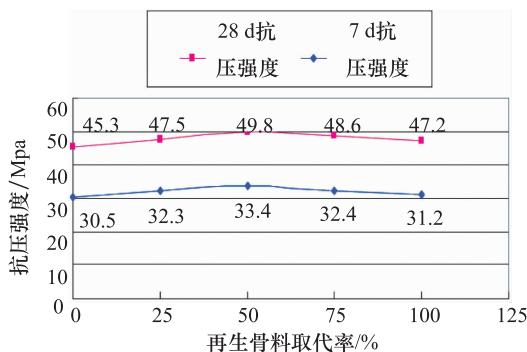


图 2 表面未经处理的再生骨料取代率与抗压强度的关系

试验采用再生骨料部分或全部取代天然碎石,再生混凝土强度较基准混凝土强度有所升高,当再生骨料掺量在 50% 左右时,再生混凝土强度可达到最大值。原因是:实验采用废弃的 C40 高强度原生混凝土加工制备的再生骨料,级配较好,经过破碎后表面粗糙,棱角突出,提高了骨料与砂浆之间的粘结力和摩擦力,并根据以往的研究结论可知^[6]:水灰比是影响混凝土抗压强度最主要因素,一般随着水灰比的降低,抗压强度升高。由于再生骨料吸水率大,亲水性强,在混凝土加水拌合过程中,再生骨料大量吸水,使水泥浆体中实际水灰比降低。因此在水泥浆用量不变的情况下,抗压强度升高。而当再生骨料掺量超过 50% 时,再生混凝土抗压强度不再取决于水灰比,而主要由再生骨料的强度决定,由前面分析可知,再生骨料的强度较低,因而再生混凝土的抗压强度呈下降趋势,但仍能满足设计要求。

3 结论

系统地研究了不同取代率下再生混凝土的工作性能和强度的变化规律,通过以上试验及分析的

结果可知:

(1) 再生骨料有较大的吸水率,在水灰比一定的条件下,再生混凝土实测的坍落度随着再生骨料的增加而逐渐变小,流动性能逐渐降低。

(2) 再生混凝土的强度并非随着再生骨料的增加而增加,而是存在一个最佳掺量,在 50% 左右强度达到最大值。再生骨料的取代率在 50% 以内时,强度随着再生骨料的增加而增加,当再生骨料的取代率超过 50% 时,强度随着再生骨料的增加而有所降低,但满足设计要求。

(3) 再生混凝土的抗压强度变化趋势与普通混凝土基本相同,都是随着龄期的增加而增长,并且再生混凝土各龄期的强度较基准的混凝土高。

(4) 由废弃的混凝土经加工处理得到的再生骨料拌制的再生骨料混凝土,可以达到天然骨料混凝土的强度要求,但是再生混凝土的早期抗压强度偏低,在实际施工中需采取相应措施,确保其安全。

(5) 仅考察了水泥为普通硅酸盐水泥的情况,而且试验中未掺有粉煤灰、矿渣等外掺料,对于采用其他类型的水泥及有粉煤灰、矿渣等外掺料的情况,尚需进一步展开相应的研究。

参 考 文 献

- 肖建庄,李佳彬,兰阳.再生混凝土技术最近研究进展与评述.混凝土,2003;(6):17—20
- 王志伟.建筑垃圾的开发与利用.建筑技术开发,2007;(6):1—2
- 杜婷,李惠强,昌永红.再生混凝土——一种新型的绿色建材.福建建材,2002;(1):23—25
- 邓寿昌,张学兵,罗迎社.废弃混凝土再生利用的现状分析与研究展望.混凝土,2006;(11):20—24
- 刑振贤,周日农.再生混凝土的基本性能研究.华北水利水电学院学报,1998;19(2):30—32
- 邓旭华.水灰比对再生混凝土强度影响的试验研究.混凝土,2005;(2):46—48

The Influence of Recycled Aggregate Replacement Rate on the Performance and Strength of Recycled Aggregate Concrete

JIANG Nan, XU Qing, ZHANG Wei

(Kunming University of Science and Technology of Civil Engineering and Architecture Institute, Kunming 650224, P. R. China)

[Abstract] Based on the experiments, the test results indicated that the strength and performance of recycled

aggregate prepared with natural aggregate which was substitute with recycled aggregate partly or completely were different from common concrete. The influence of recycled aggregate replacement rate on properties of concrete with the same water-cement ratio was discussed in this paper. As shown in the results, on the performance, the fluidness of recycled aggregate concrete decreases with the addition of recycled aggregate, but the cohesiveness and the water-retaining property increases. On the strength, it is benefit for the strength of recycled aggregate concrete when the recycled aggregate replacement rate reaches around 50%.

[Key words] recycled aggregate recycled aggregate concrete performance strength
replacement rate

(上接第 4842 页)

预应力混凝土管桩在荷载传递过程中,桩顶沉降包括桩身变形和桩底沉降。在有效荷载作用下,桩身变形在弹性范围内,桩底沉降是持力层的压缩变形。在荷载较小时,表现为摩擦桩的受力特性,随着荷载的增加,表现出端承摩擦桩的受力特性。

参 考 文 献

- 1 钱家欢,殷宗泽. 土工数值分析. 北京:中国铁道出版社,1991
- 2 阮起楠. 预应力混凝土管桩. 北京:中国建材工业出版社,1999

- 3 张忠苗. 软土地基超长嵌岩桩的受力性状. 岩土工程学报,2001;23(2):552—556
- 4 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算(第二版). 北京:中国水利水电出版社,1996
- 5 郭乙木,陶伟明,庄 苗. 线性与非线性有限元及其应用. 北京:机械工业出版社,2004
- 6 池跃君,敖立新,顾晓鲁. 超长桩荷载传递机理的计算分析. 特种结构,2000;17(4):12—15
- 7 曾友金,章为民. 用有限单元法分析超长单桩的荷载传递. 岩土力学,2002;23(6):803—806

Bearing Mechanism of Super-long PHC Pipe Piles in Soft Soil Foundation

ZHOU Wan-qing, LI Xian-wu¹

(College of Civil Engineering and Architecture, China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China;
China Construction Third Engineering Division Corp. LTD¹, Wuhan 430040, P. R. China)

[Abstract] Prestressed high strength concrete (PHC) pipe piles are widely used to construct foundation for bridge and construction structures in soft soil foundation, but the bearing mechanism of super long prestressed concrete pipe is not clear. The nonlinear finite element analysis of the pile - soil interaction is discussed by using the Duncan-Chang model for soil, Goodman element for the contact and Hognestad equation for the pile. Results show that the strain of pile is elastic, and the settlement of pile tip is the compression of the soil at the pile tip.

[Key words] super long PHC pile contact interaction of pile-soil