

文章编号:1001-4888(2017)02-0247-10

再生骨料透水混凝土抗压性能 及透水性能试验研究^{*}

张浩博, 杜晓青, 寇佳亮, 于丹红

(西安理工大学 土木建筑工程学院, 陕西西安 710048)

摘要:通过掺 30% 再生骨料和未掺再生骨料两种透水混凝土的抗压性能及透水性能对比试验, 研究了水灰比、骨料粒径、砂率等因素对其抗压性能和透水性能的影响, 确定了按体积法配制的合理性和最佳配合比。试验结果表明, 采用 5~10mm 的骨料粒径、水灰比为 0.3 和目标孔隙率为 15% 时, 掺 30% 再生骨料和未掺再生骨料两种透水混凝土抗压强度分别达到 18.0MPa 和 19.2MPa, 且透水系数均大于 5mm/s。基于上述试验结果, 分析了掺 30% 再生骨料和未掺再生骨料两种透水混凝土孔隙率与透水系数及抗压强度之间的关系, 表明它们之间存在着相关性良好的函数关系, 即可以通过调整孔隙率的大小来平衡抗压强度与透水系数, 使之均满足实际工程要求。

关键词:透水混凝土; 抗压性能; 透水系数; 再生骨料; 孔隙率

中图分类号: TU502⁺.6; TU528.59 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-16-008

0 引言

透水混凝土是由粗骨料形成基本骨架, 不含或少含细骨料, 水泥浆均匀包裹骨料形成的具有大量连通孔隙的蜂窝状混凝土。它具有减小地表径流、减轻城市排水系统压力^[1]、与土壤进行湿热交换缓解城市热岛效应^[2]、自然补充地下水并从源头上防止地下水污染^[3]、吸声^[4]、吸波^[5]等多重积极的环境效应, 是一种新型的环境友好型材料。孙家瑛等^[6]、Bhutta^[7]研究了再生混凝土骨料对透水混凝土基本性能的影响; Korat 等^[8]研究了骨料的类型和尺寸对透水混凝土的影响。孙家瑛等^[1]、蒋正武等^[9]对透水混凝土的力学、耐久性能及其影响因素做了进一步的研究。

随着我国基础设施的发展, 产生了大量的废弃混凝土, 这些垃圾严重影响了城市的生活环境, 造成环境污染。利用再生骨料部分替换天然骨料制备透水混凝土, 有利于自然环境的保护和资源的循环利用, 由此可以产生巨大的经济效益和社会效益。

目前, 国内对掺再生骨料透水混凝土的研究还处在起步阶段, 对其性能及其影响因素进行系统对比研究的较少。因此, 本课题组基于陕西地方材料, 通过平行对比试验, 研究掺再生骨料和未掺再生骨料两种透水混凝土的抗压性能和透水性能, 分析各因素对其性能的影响, 为今后试验研究和工程实践提供科学依据。

^{*} 收稿日期: 2016-01-15; 修回日期: 2016-04-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51408487); 中国住建部科学技术资助项目(2014-K2-037); 中国博士后科学基金第 56 批面上资助项目(2014M562437); 陕西省自然科学基金资助项目(2014JQ7292); 陕西省教育厅专项科学研究计划资助项目(14JK1516); 陕西省博士后科研项目资助; 西安市建设科技研究项目(SJW2015-09); 西安理工大学基础研究基金资助项目(118-211403)

通讯作者: 张浩博(1963—), 男, 硕士, 副教授, 从事高性能混凝土材料力学性能研究。Email: jiancai@xaut.edu.cn

1 试验方案

1.1 试验原材料

水泥采用秦岭牌 P·O 42.5 水泥,性能指标见表 1;粗骨料采用普通碎石,再生粗骨料为强度 C30 的废弃混凝土试块经破碎、过筛而得到,粗骨料粒径为 5~10mm 和 10~15mm 两种,性能指标见表 2 及表 3,规格如图 1 所示;细骨料采用灞河河砂,用筛子筛除 1.25mm 以上粒径,细度模数为 2.2,属细砂;外加剂采用西安某公司生产的聚羧酸高效减水剂,淡黄色液体,固含量为 20%;水采用西安市自来水。

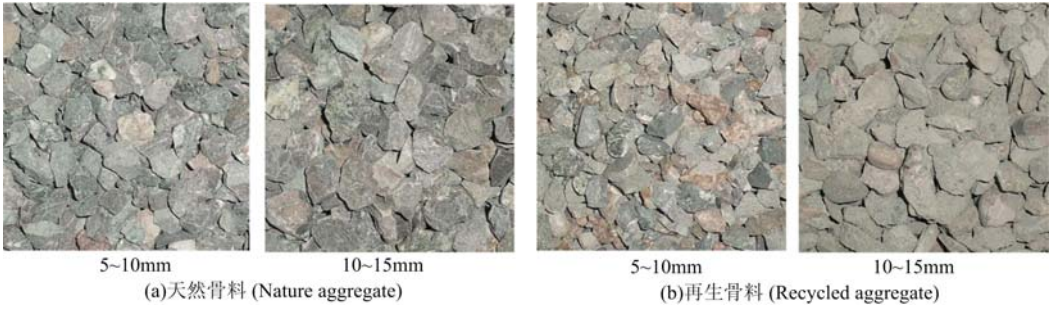


图 1 试验用粗骨料

Fig. 1 Coarse aggregate of experiment

表 1 水泥物理力学性能指标

Tab. 1 Physical and mechanical properties of cement

标准稠度 用水量(%)	密度 (g/cm ³)	安定性	凝结时间(min)		3d 抗折 强度(MPa)	28d 抗折 强度(MPa)	3d 抗压 强度(MPa)	28d 抗压 强度(MPa)
			初凝	终凝				
26.8	3.01	合格	185	240	5.41	8.14	22.63	48.65

表 2 天然骨料基本物理性质

Tab. 2 Physical properties of nature aggregate

级配 (mm)	吸水率 (%)	表观密度 (kg/m ³)	堆积密度 (kg/m ³)	紧密堆积密度 (kg/m ³)	压碎指标 (%)
5~10	1.6	2510	1330	1497	9.1
10~15	1.0	2730	1465	1576	9.1

表 3 再生骨料基本物理性质

Tab. 3 Physical properties of recycled aggregate

级配 (mm)	吸水率 (%)	表观密度 (kg/m ³)	堆积密度 (kg/m ³)	紧密堆积密度 (kg/m ³)	压碎指标 (%)
5~10	6.6	2470	1160	1342	13.2
10~15	4.0	2490	1264	1354	13.2

1.2 试验配合比

试验采用体积法^[10]进行配合比计算。试验设计分为:R 系列(掺 30%再生骨料)和 N 系列(未掺再生骨料),每一系列包括 9 组配合比,分别研究水灰比、目标孔隙率、砂率等因素对透水混凝土抗压性能的影响。

本文在查阅大量文献的基础上,前期进行了大量尝试性试验,发现再生骨料的掺量过小时,其混凝土强度与未掺的相比,变化不大,且对再生骨料的利用率偏低;掺量过大时,将导致透水混凝土的强度降低,影响其使用;因此,综合透水混凝土的性能要求及资源节约性,本文选用再生骨料的掺量为 30%。

在透水混凝土试配过程中发现,由于再生骨料的吸水率较大,使得水泥浆体的稠度变大,易于粘结在骨料表面而不至于流淌,此外再生骨料的吸水使得水灰比减小,有助于混凝土强度的提高。因此,本文不考虑附加用水。

本文中为了易于获取较大的透水系数,骨料采用的是单粒级配。在前期试配过程中发现,连续级配时,大小骨料镶嵌紧密,增加了透水混凝土的密实度,提高了其强度,却大幅度减少了其内部孔隙的含量,减少了孔隙,降低了透水混凝土的透水系数。试验配合比详见表 4。

表 4 透水混凝土配合比
Tab. 4 Mix proportions of porous concrete

系列	编号	骨料 粒径	W/C	S _p	P	配合比(kg/m ³)					SP
						NA	RA	S	C	W	
N	1	5~10mm	0.25	0	15%	1467	0	0	472	118	0.4%
	2	5~10mm	0.3	0	15%	1467	0	0	434	130	0.1%
	3	5~10mm	0.3	0	20%	1467	0	0	353	106	0.1%
	4	5~10mm	0.3	0	25%	1467	0	0	273	82	0.1%
	5	5~10mm	0.35	0	15%	1467	0	0	401	141	0.0%
	6	10~15mm	0.3	0	15%	1544	0	0	457	137	0.1%
	7	10~15mm	0.3	5%	20%	1544	0	81	327	98	0.1%
	8	10~15mm	0.3	8%	20%	1544	0	134	295	89	0.1%
	9	10~15mm	0.3	10%	20%	1544	0	172	272	82	0.1%
R	1	5~10mm	0.25	0	15%	1027	395	0	489	122	0.4%
	2	5~10mm	0.3	0	15%	1027	395	0	450	135	0.1%
	3	5~10mm	0.3	0	20%	1027	395	0	369	111	0.1%
	4	5~10mm	0.3	0	25%	1027	395	0	289	87	0.1%
	5	5~10mm	0.35	0	15%	1027	395	0	416	146	0.0%
	6	10~15 mm	0.3	0	15%	1081	398	0	392	118	0.1%
	7	10~15mm	0.3	5%	20%	1081	398	78	345	103	0.1%
	8	10~15mm	0.3	8%	20%	1081	398	129	314	94	0.1%
	9	10~15mm	0.3	10%	20%	1081	398	164	292	88	0.1%

注:1. NA:天然粗骨料;RA:再生粗骨料;S:砂子;C:水泥;W:水;SP:高效减水剂;P:目标孔隙率;S_p:砂率;W/C:水灰比(质量比);

2. 高效减水剂的掺量以控制砂浆(净浆)流动度在 180~200mm 为宜,适合透水混凝土振动成型^[2];

3. NA 和 RA 的用量按其紧密堆积状态下的质量乘以折减系数 0.98^[11];R 系列中,NA 与 RA 的体积比为 7:3(按紧密堆积密度)。

1.3 成型工艺及养护

试验采用水泥浆裹石法,利用 HJW-60 型单卧轴强制式混凝土搅拌机进行混合料搅拌,即先加入全部的水、砂子、水泥和高效减水剂,搅拌 90s,形成均匀的水泥浆体,然后加入粗骨料再搅拌 120s,使浆体充分地包裹住骨料,最后进行装模。新拌透水混凝土装模时,每装 1/3 模具高,用捣棒均匀插捣



图 2 透水混凝土试块

Fig. 2 The specimens of porous concrete

25 次,最后放在振动台上,振动 5s,用钢片刮平表面。所有试件在成型后,立即用表面刷过机油的塑料薄膜覆盖住,防止水分蒸发影响水泥的水化及强度发展。将试件放在养护室养护 24h 后进行脱模,然后洒水养护,直到 28d 试验龄期。每组配合比均成型 6 块 100mm×100mm×100mm 的立方体,用于抗压强度、透水系数和孔隙率的测定,如图 2 所示。

2 试验方法

2.1 透水混凝土抗压强度

透水混凝土抗压强度测试按照 GB/T50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法》进行,测试龄期为 28d。试验仪器为 WAW-1000 微机控制电液伺服万能试验机,控制加荷速率为 0.3~0.5MPa。

2.2 透水混凝土有效孔隙率

采用排水法测定透水混凝土的有效孔隙率,步骤如下:

(1) 用游标卡尺量取透水混凝土试件的长、宽、高,计算出试件体积 V_0 ;

(2) 用量筒量取容器盛满水时水的体积 V_1 ;

(3) 将试件放进容器中加满水,量取此时水的体积 V_2 ;

(4) 透水混凝土试件有效孔隙率 $P' = 1 - (V_1 - V_2) / V_0$ 。

2.3 透水混凝土透水系数

试验采用固定水头法测定透水系数^[7],自制透

水装置示意图如图 3。将透水混凝土试块侧面蜡封,放入透明方直桶中,用密封橡皮泥对试件与透明方直桶之间的缝隙进行密封,然后向方直桶中注水,缓慢调节注水速度,待方直筒中水面与上面出水孔齐平,且有少量水流出时,保持此时的注水速度不变,用容器从下面出水孔取一定时间之内流出的水,并用量筒量取其透水量 Q 。由下式计算其透水系数:

$$K = \frac{Q \times L}{H \times A \times t}$$

式中, K 为透水系数, cm/s; Q 为透水量, ml; L 为透水混凝土试件高度, cm; H 为水头差, cm; A 为透水混凝土试件透水面积, cm²; t 为透水时间, s。

以上试验均以三个试块测值的算术平均值作为该组的试验结果。当三个测值的最大值或最小值之一,与中间值的差超过中间值的 15% 时,取中间值。如两个测值与中间值之差均超过中间值的 15%,则此组试验结果无效。

3 试验结果与分析

透水混凝土试验结果详见表 5 所示。

N 系列和 R 系列透水混凝土在抗压试验加荷初期,试件比较稳定,没有明显的裂纹出现;随着荷载增加,试件发出细微的喀嚓声,这是骨料颗粒/胶凝材料发生断裂所产生的,并且出现少量细小裂缝,这些裂缝一般出现在靠近试件左右两侧的边角部位。由于碎石骨料存在棱角,在尖部接触处容易产生应力集中,使得颗粒接触面或软弱颗粒发生断裂,导致颗粒发生错动,逐渐填充试件内部孔隙,使试件变得密实,承载力相对增加。接着,试件发生明显的横向变形,使得骨料较薄弱的粘结面拉裂,

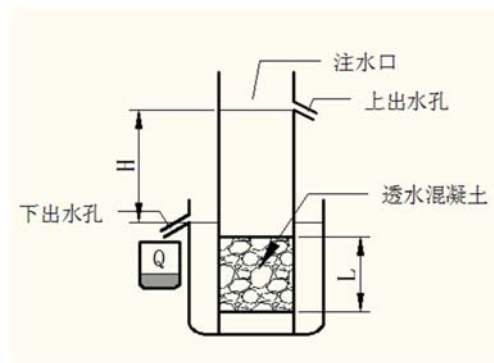


图 3 自制透水装置示意图

Fig. 3 Water permeability set-up for porous concrete

侧面出现鼓起现象。随着荷载继续增加，裂缝不断发展，并与试件中的孔隙连通，裂缝变宽变长，试件开始掉落骨料颗粒，最终形成两条主要的竖向通缝(见图 4)，试件丧失承载能力而破坏。

透水混凝土单轴受压破坏类似一般混凝土，经历了弹性、开裂、破坏三个阶段，不同的是，透水混凝土应力—应变曲线的下降段先是陡峭地近似直线下降，接着逐渐变得平缓，它的破坏形态为脆性破坏，部分透水混凝土应力—应变曲线如图 5 所示。由图 5 可以看出，R2 与 R5 组的最大应力明显高于其他四组，这是因为这两组的目标孔隙率为 15%，比其他四组的低，且采用粒径为 5~10mm 的骨料，这些都优于其他四组，有助于强度的提高，本文后面将有具体的原因分析。此外，透水混凝土试件单轴受压时，它的抗裂性能对强度的影响很敏感，不能忽略。



图 4 试件破坏面
Fig. 4 Failure surface of specimens

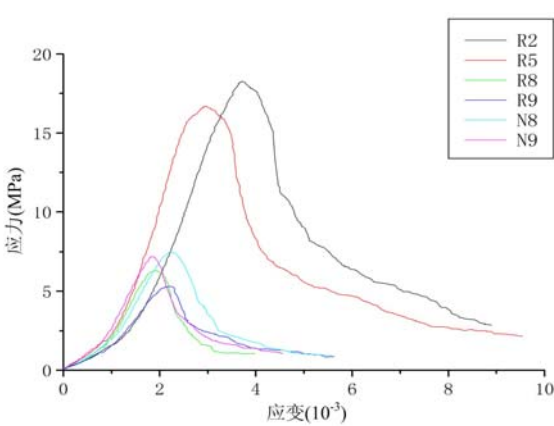


图 5 部分透水混凝土应力—应变曲线
Fig. 5 Stress-strain curves of porous concrete

表 5 透水混凝土试验结果
Tab. 5 The results of porous concrete experiment

系列	编号	骨料粒径	W/C	S _p	P	有效孔隙率	透水系数(cm/s)	抗压强度(MPa)
N	1	5~10mm	0.25	0	15%	13.8%	0.54	12.5
	2	5~10mm	0.3	0	15%	13.1%	0.55	19.2
	3	5~10mm	0.3	0	20%	18.1%	1.10	10.3
	4	5~10mm	0.3	0	25%	22.4%	1.74	7.4
	5	5~10mm	0.35	0	15%	13.0%	0.56	17.7
	6	10~15mm	0.3	0	15%	12.8%	0.57	15.1
	7	10~15mm	0.3	5%	20%	17.4%	1.15	11.7
	8	10~15mm	0.3	8%	20%	18.3%	1.09	7.4
	9	10~15mm	0.3	10%	20%	17.8%	1.11	7.0
R	1	5~10mm	0.25	0	15%	13.4%	0.55	11.9
	2	5~10mm	0.3	0	15%	13.7%	0.56	18.0
	3	5~10mm	0.3	0	20%	17.9%	1.08	8.5
	4	5~10mm	0.3	0	25%	22.9%	1.68	5.0
	5	5~10mm	0.35	0	15%	13.5%	0.60	16.7
	6	10~15mm	0.3	0	15%	13.2%	0.58	13.1
	7	10~15mm	0.3	5%	20%	17.8%	1.06	10.9
	8	10~15mm	0.3	8%	20%	18.6%	1.14	6.1
	9	10~15mm	0.3	10%	20%	18.3%	1.12	5.2

3.1 透水混凝土抗压强度影响因素分析

3.1.1 再生骨料对透水混凝土抗压强度的影响

由图 6 可以看出,在骨料粒径、水灰比、砂率及目标孔隙率相同的情况下,R 系列的抗压强度比 N 系列的都低,这是由于在 R 系列中掺加了再生骨料的缘故:一方面,再生骨料在机械破碎过程中,产生了微小裂纹,使得表面黏附的水泥浆变得疏松,孔隙率增大,骨料强度下降;另一方面,再生骨料表面的旧砂浆与新拌水泥浆体粘结不牢固,存在界面薄弱区,这样就使得 R 系列的抗压强度降低。其抗压强度的相差幅度在 0.6~2.5MPa 之间。除第 4 组和第 9 组抗压强度分别降低了 32.4% 和 25.7% 外,其余各组的强度降低率大约在 4.8%~17.6% 之间。由此可见,掺 30% 的再生骨料对透水混凝土抗压强度有一定的影响。

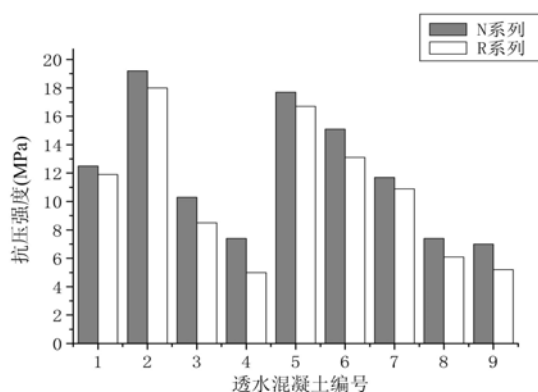


图 6 透水混凝土抗压强度

Fig. 6 Compressive strength of porous concrete

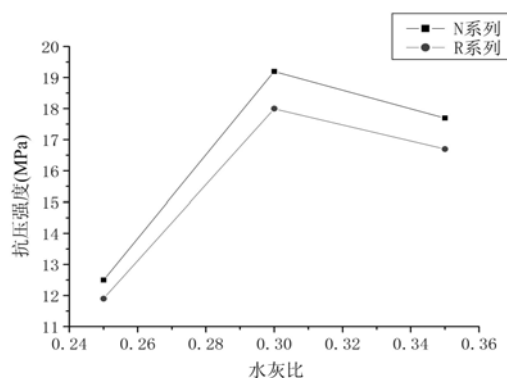


图 7 水灰比对透水混凝土抗压强度的影响(1、2、5 组)

Fig. 7 Effect of water-cement ratio on compressive strength of porous concrete (1,2,5set)

3.1.2 水灰比对透水混凝土抗压强度的影响

由图 7 可以看出,R 系列和 N 系列透水混凝土抗压强度均随着水灰比的增大,先增大后减小,当水灰比为 0.3 时,其抗压强度均达到最大值。当水灰比由 0.25 增大到 0.3 时,R 系列和 N 系列抗压强度分别增加了 51.3% 和 53.6%,水灰比对强度的影响较显著;当水灰比由 0.3 增加到 0.35 时,R 系列和 N 系列抗压强度分别降低了 7.2% 和 7.8%,水灰比对强度的影响较小。

与普通混凝土强度随水灰比增加而降低的现象有所不同,透水混凝土当水灰比小于 0.3 时,水泥用量相对变多,而水相对变少,一方面使得水泥不能充分水化,另一方面水泥浆体变的粘稠,不能均匀包裹骨料颗粒,且水泥浆容易成团,搅拌困难,因此强度较低;当水灰比大于 0.3 时,混凝土硬化过程中,多余的水分蒸发,在水泥浆体中留下微细孔,降低其强度。另外,骨料表面水泥浆膜厚度增加,导致骨料被隔离开,减弱了骨料间的摩擦和嵌挤作用对混凝土强度的贡献,使强度降低。由此可以得出,透水混凝土的最佳水灰比为 0.3。

3.1.3 砂率对透水混凝土抗压强度的影响

Bonicelli 等^[12]研究表明,透水混凝土中添加适量的细砂,可以增加其抗压强度。但由图 8 看出,无论是 R 系列还是 N 系列,当砂率由 5% 增加到 10% 过程中,透水混凝土的抗压强度一直降低,这与文[12]研究结果不符。由表 4 可知,第 7、8、9 组配合比中,目标孔隙率较大,导致混凝土拌合物中的水泥浆体相对较少。加入细砂后,为保证目标孔隙率不变,细砂占据了部分水泥浆体的体积,这样水泥浆体变得更少,水泥浆不足以充分包裹粗细骨料,使得部分骨料接触面上的粘结性能降低,导致透水混凝土抗压强度降低。因此,本试验中砂子的最佳掺量应该在 5% 左右。

3.1.4 骨料粒径对透水混凝土抗压强度的影响

骨料粒径对透水混凝土抗压强度的影响如图 9 所示。R 系列和 N 系列透水混凝土抗压强度均随骨料的增大而减小。当骨料粒径由 5~10mm 增加到 10~15mm 时,R 系列和 N 系列透水混凝土抗压强度分别降低了 27.2% 和 21.3%。由此可见,透水混凝土抗压强度与骨料粒径有着密切的关系,随着

骨料粒径的增大,混凝土抗压强度下降得较多。这主要是因为,对于透水混凝土,其强度主要由以下几个方面决定:(1)水泥浆的粘结强度;(2)骨料间的机械咬合力和摩擦力;(3)粗骨料的强度。当其他条件相同时,随着骨料粒径增大,骨料的表面积减小,包裹在骨料表面的水泥浆厚度增大,致使骨料颗粒间的咬合点减少,机械咬合程度降低,由此产生的咬合摩擦力及其与水泥浆体的粘结力减少;骨料间的接触点和接触面减少,平均分摊在每个颗粒上的应力变大,且颗粒分布不均匀,容易产生局部应力集中,从而使透水混凝土抗压强度降低。

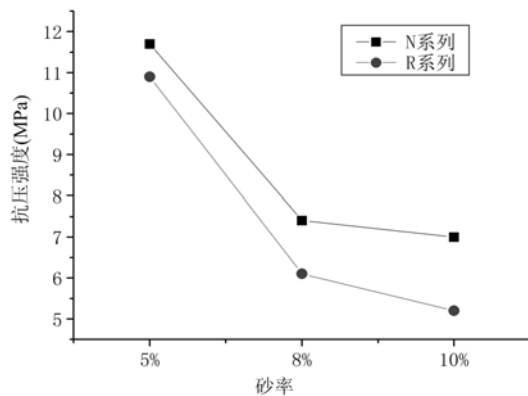


图8 砂率对透水混凝土抗压强度的影响(7、8、9组)

Fig. 8 Effect of sand percentage on compressive strength of porous concrete (7,8,9set)

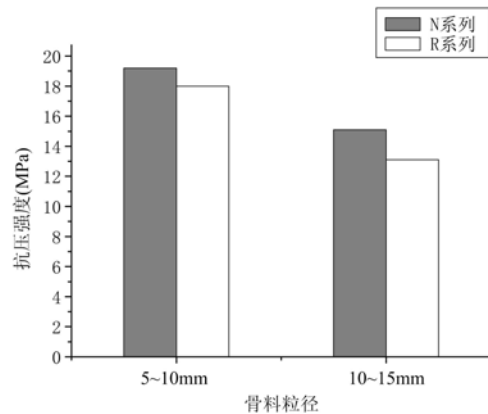


图9 骨料粒径对透水混凝土抗压强度的影响(2、6组)

Fig. 9 Effect of aggregate size on compressive strength of porous concrete (2,6set)

3.2 透水混凝土孔隙率、抗压强度及透水系数之间的相互关系

3.2.1 有效孔隙率与目标孔隙率的关系

如图10所示,无论是R系列还是N系列透水混凝土,有效孔隙率与目标孔隙率都比较接近,因此采用体积法进行配合比设计完全可以满足试验要求,且有效孔隙率总比目标孔隙率略低,降低幅度大约在6.86%~14.90%。这是因为,混凝土中的孔隙包括封闭孔、半连通孔和连通孔(有效孔隙是指影响透水混凝土透水性能的孔隙,即开口孔和半连通孔,不包括封闭孔)。在混凝土拌合成型过程中会不可避免地形成些封闭孔,因此有效孔隙率比预留的目标孔隙率低。

对比同一系列相同目标孔隙率的透水混凝土,可知其有效孔隙率相差微小,说明当目标孔隙率一定时,水灰比、砂率、骨料粒径这些因素对其有效孔隙率的影响是可以忽略的。不同的是,R系列的有效孔隙率较N系列的略高,这是由于R系列中的再生骨料,其较高的孔隙率增加了透水混凝土有效孔隙形成的概率,有利于其透水性能。因此,透水混凝土中掺入再生骨料是有利的。

3.2.2 有效孔隙率与透水系数间的关系

如图11所示,透水混凝土的透水系数随着有效孔隙率的增大而增大,这是因为有效孔隙率的增加,加大了单位面积上透水孔的面积和竖向透水路径,从而提高了透水混凝土的透水能力。对试验数据进行回归分析,分别得到两条线性关系,R系列和N系列拟合线性的相关系数分别为0.996和0.975。由此可看出,有效孔隙率与透水系数之间符合良好的线性关系。对比表5中数据发现,目标孔隙率相同的透水混凝土,其有效孔隙率相近,但不同粒径间的透水系数随 $D_{\max}/D_{\min}$ 的比值变化还存在差别,即随 $D_{\max}/D_{\min}$ 比值的加大,有效孔隙率在减小,透水混凝土透水系数也在相应减小。这是因为有效孔隙率相近的透水混凝土,其同一横截面上的有效透水面积也相近,5~10mm粒径透水混凝土,其孔隙小而分布均匀,水流穿过时所受到的粘滞阻力较大,减缓了水流速度;对于10~15mm粒径透水混凝土,其孔隙多分布不均,所受的粘滞阻力较小,对水流速度影响较小,其透水断面如图12所示。

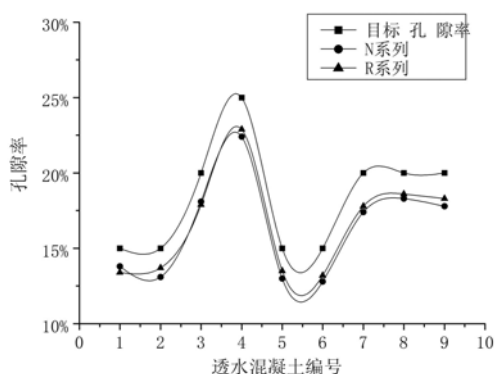


图 10 透水混凝土有效孔隙率与目标孔隙率的关系
Fig. 10 The relationship between effective porosity and target porosity of porous concrete

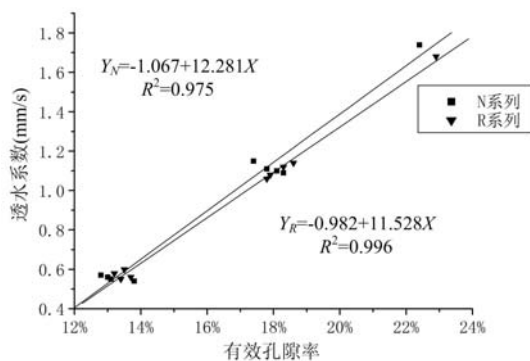


图 11 有效孔隙率与透水系数的关系
Fig. 11 The relationship between effective porosity and coefficient of water permeability

3.2.3 目标孔隙率与透水混凝土抗压强度的关系

由表 5 中数据可以得出透水混凝土 28 天抗压强度与目标孔隙率之间的关系曲线,如图 13 所示。图 13 中 Y_N 及 Y_R 关系式表明,透水混凝土抗压强度与目标孔隙率之间的关系符合二次多项式关系,

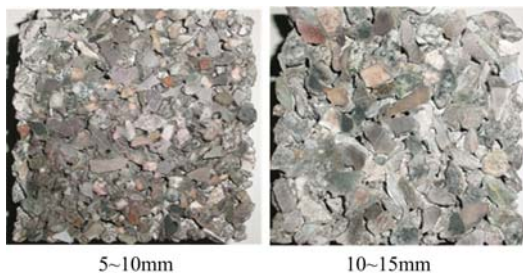


图 12 透水混凝土横截面图

Fig. 12 The cross-section graph of porous concrete

R 系列的强度降低率总比 N 系列的大,这与掺加的再生骨料有关。同时由表 5 可以看出,目标孔隙率对透水系数的影响最为显著,而其他因素的影响则略微。

4 结论

通过对 R 系列和 N 两种透水混凝土进行抗压性能和透水性能的试验研究,得到如下结论:

(1) 通过掺 30% 再生骨料和未掺再生骨料两种透水混凝土的抗压性能及透水性能对比试验,研究了水灰比、骨料粒径、砂率等因素对其抗压强度和透水性能的影响,确定了按体积法配制的合理性和最佳配合比。基于上述试验结果,分析了掺 30% 再生骨料和未掺再生骨料两种透水混凝土孔隙率与透水系数及抗压强度之间的关系,表明它们之间存在着相关性良好的函数关系,即通过调整孔隙率的大小来平衡抗压强度与透水系数,使之均满足实际工程要求。

(2) 随着目标孔隙率的增大,透水混凝土的透水系数增加,抗压强度降低。

且相关性较好。透水混凝土抗压强度随目标孔隙率的增大而逐渐降低。当目标孔隙率由 15% 增加到 20% 时, R 系列和 N 系列的抗压强度分别降低了 53.8% 和 46.4%; 而当目标孔隙率由 20% 增加到 25% 时, R 系列和 N 系列的抗压强度分别降低了 41.2% 和 28.2%。由此可得,随着目标孔隙率的增大,透水混凝土的抗压强度降低率逐渐减小,说明目标孔隙率对透水混凝土抗压强度的影响随着目标孔隙率的增大而逐渐降低,最后趋于稳定。

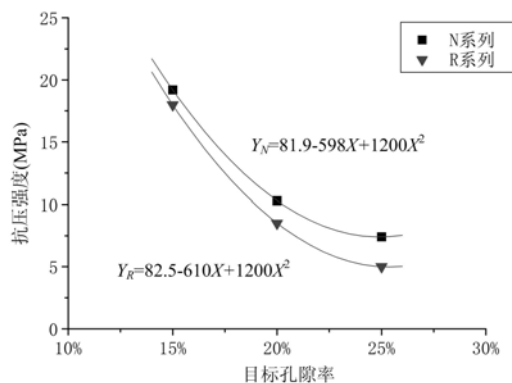


图 13 目标孔隙率与透水混凝土抗压强度的关系(2、3、4 组)
Fig. 13 The relationship between target porosity and compressive strength of porous concrete(2,3,4set)

(3) 水灰比、砂率、骨料粒径、目标孔隙率对透水混凝土的性能均有影响,但水灰比对抗压强度的影响最大,而对透水系数影响最显著的是目标孔隙率。

(4) 掺30%再生骨料虽然使透水混凝土的抗压强度有较大的损失,但其较高的孔隙率有利于透水混凝土的排水性能。

(5) 当粗骨料采用5~10mm粒径,水灰比为0.3,目标孔隙率为15%时,配制的R和N两系列的透水混凝土的抗压强度最大,分别为18.0MPa和19.2MPa,且透水系数均大于5mm/s。

参考文献:

- [1] 孙家瑛,黄科,蒋华钦. 透水水泥混凝土力学性能和耐久性能研究[J]. 建筑材料学报, 2007, 10(5):583—587 (SUN Jiaying, HUANG Ke, JIANG Huaqin. Research on physical properties and durability of pervious cement concrete[J]. Journal of Building Materials, 2007, 10(5):583—587 (in Chinese))
- [2] Chindaprasirt P, Hatanvka S, Chareerat T, et al. Cement paste characteristics and porous concrete properties [J]. Construction and Building Materials, 2008, 22(5):894—901.
- [3] Park S B, Tia M. An experimental study on the water-purification properties of porous concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34(2):177—184.
- [4] Park S B, Seo D S, Lee J. Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(9):1846—1854.
- [5] 梁丽敏,余红发,吴庆令,等. 多孔混凝土的吸波特性[J]. 建筑材料学报, 2010, 13(2):165—168 (LIANG Limin, YU Hongfa, WU Qingling, et al. Investigation of microwave-absorbing properties of porous concrete[J]. Journal of Building Materials, 2010, 13(2):165—168 (in Chinese))
- [6] 孙家瑛,梁山. 再生混凝土集料透水性混凝土性能研究及应用[J]. 建筑材料学报, 2012, 15(6):747—750 (SUN Jiaying, LIANG Shan. Performance of recycled concrete aggregate porous cement concrete and its application[J]. Journal of Building Materials, 2012, 15(6):747—750 (in Chinese))
- [7] Bhutta M A R, Hasanah N, Farhayu N, et al. Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate)[J]. Construction and Building Materials, 2013, 47:1243—1248.
- [8] Korat L, Ducman V. Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete[J]. Construction and Building Materials, 2015, 78:69—76.
- [9] 蒋正武,孙振平,王培铭. 若干因素对多孔透水混凝土性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2005, 8(5):513—519 (JIANG Zhengwu, SUN Zhenping, WANG Peiming. Effects of some factors on properties of porous pervious concrete[J]. Journal of Building Materials, 2005, 8(5):513—519 (in Chinese))
- [10] 陈瑜,王迪. 路面用多孔混凝土配合比设计方法研究[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(4):423—427 (CHEN Yu, WANG Di. Research on mix proportioning design of porous concrete applied in highway pavement[J]. Journal of Building Materials, 2009, 12(4):423—427 (in Chinese))
- [11] 贺图升,赵旭光,赵三银,等. 基于集料裹浆厚度的水泥基透水砖配合比设计[J]. 建筑材料学报, 2015, 18(2):287—290 (HE Tusheng, ZHAO Xuguang, ZHAO Sanyin, et al. Mix proportion design method of permeable brick based on cement paste thickness on coated aggregates[J]. Journal of Building Materials, 2015, 18(2):287—290 (in Chinese))
- [12] Bonicelli A, Giustozzi F, Crispino M. Experimental study on the effects of fine sand addition on differentially compacted pervious concrete[J]. Construction and Building Materials, 2015, 91:102—110.

Experimental Study of Compressive and Permeable Performance of Permeable Concrete with Recycled Aggregate

ZHANG Hao-bo, DU Xiao-qing, KOU Jia-liang, YU Dan-hong

(School of Civil Engineering & Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Through comparative experiment of compressive and permeable properties of two kinds permeable concrete (with or without 30% recycled aggregate), the effect of water-cement ratio, aggregate particle diameter, and sand ratio on the compressive and permeable properties was studied, the rationality of mixture preparation by volume was validated, the optimal mixing proportion was determined. Experimental results indicate that when aggregate particle diameter in a range of 5 ~ 10mm, water-cement ratio is 0.3 and target porosity is 15%, the compressive strength of two types of permeable concrete (with or without 30% recycled aggregate) can reach 18.0MPa and 19.2MPa respectively, and both permeation coefficients are larger than 5mm/s. Based on above experimental results, the relation among porosity, permeation coefficient and compressive strength of two types of permeable concrete (with or without 30% recycled aggregate) was analyzed. There are good function relations among these factors, which indicates that through controlling porosity, both compressive strength and permeation coefficient can be adjusted to meet the engineering requirements.

Keywords: permeable concrete; compressive property; permeation coefficient; recycled aggregate; porosity