

文章编号 1000-5013(2006)01-0054-04

再生骨料混凝土配制透水路面砖

严 捍 东

(华侨大学土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要 通过理论计算和试验分析,揭示骨灰比、砂率和水灰比对再生骨料透水混凝土力学性能和透水系数的影响规律.采用功效系数法得出再生骨料透水混凝土配合比控制参数,即骨灰比为 3.5,砂率为 15%,水灰比为 0.34.通过优选配合比参数,得到具有良好透水性能的再生骨料透水混凝土路面砖,其抗压强度可达到 20 MPa 以上;降低透水能力的要求,则其强度可以满足 JC/T 466 - 2000 混凝土路面砖标准的要求.

关键词 再生骨料, 透水混凝土, 力学性能, 透水系数, 功效系数法, 混凝土路面砖

中图分类号 TU 522.106.1

文献标识码 A

城市中大面积的混凝土路面缺乏透气性、透水性,给城市生态环境带来诸多负面影响.最近 20 年出现的透水性混凝土路面,对维持生态平衡具有重要作用^[1~3].1979 年,美国在佛罗里达州建成了透水性停车场路面,颁发了透水性混凝土专利,并在 1991 年成立了“透水性波特兰水泥混凝土协会”.1987 年,日本有研究者申请透水性混凝土铺地材料的专利,并将透水性混凝土用于公园道路、高速公路中央分割带和路肩等实际工程中^[4].长期以来,因各种原因被拆除的混凝土建(构)物越来越多,出现了大量的废弃混凝土.日本在 1977 年就制定了《再生骨料和再生混凝土使用规范》,并相继在各地建立了以处理混凝土废弃物为主的再生加工厂,生产再生水泥和再生骨料^[5].我国再生骨料的生产和再生混凝土的实际应用还很少^[6],配制透水性混凝土路面是再生骨料利用的一个可能途径.本文分析了影响再生骨料透水混凝土力学性能和透水系数的主要因素,提出再生骨料透水混凝土路面砖的配制技术,并测定透水路面砖的强度和透水系数.

1 原材料

(1) 水泥.石凤牌 P. O32.5R 水泥,实测水泥 28 d 抗折强度为 8.0 MPa,28 d 抗压强度为 47.4 MPa. (2) 再生骨料.废弃混凝土构件经破碎后分别(mm)用 4.75,9.50,16.0,19.0,26.5,31.5 和 37.5 方孔石子筛筛分,经人工调配为符合《GB/T 14685 - 2001 建筑用卵石、碎石》中 5.0~31.5 mm 连续级配的再生骨料.该粒级再生骨料的物理力学性能,如表 1 所示.表中, ρ_0 为表观密度, ρ_s 为堆积密度, α 为空隙率, w_a 为吸水率, W_p 为压碎指标.再生骨料的堆积密度随骨料粒径增大而增大,空隙率和吸水率则随骨料粒径减小而增大.配制透水混凝土希望骨料间空隙率要大,且经颚式破碎机破碎的再生骨料粒径主要集中在 9.5~26.5 mm 之间.因此,配制透水混凝土时,确定采用 9.5~19.0 mm 粒径范围的再生骨料.再生骨料其他性能详见文[7]. (3) 细骨料.细骨料为粒径 0.63~1.25 mm 的天然砂. (5) 高效减水剂. TW-10 萘系高效减水剂.

表 1 5.0~31.5 mm 粒级再生骨料的物理力学性能

$\rho_0 / \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\rho_s / \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$\alpha / (\%)$	$w_a / (\%)$	$W_p / (\%)$
2 550	1 410	45	3.7	21.3

收稿日期 2005-05-11

作者简介 严捍东(1968-),男,副教授,博士,主要从事高强、高性能混凝土和工农业固体废渣综合利用及新型建筑材料产品开发的研究. E-mail: hdyan@hqu.edu.cn

基金项目 福建省建设厅建设系统科研基金资助项目(04-1-05);泉州市科技局科研基金资助项目(2004S1);华侨大学高层次人才科研基金资助项目(02BS05);泉州市全国建设科技发展重点基金资助项目(2003028)

2 试验方法

2.1 影响混凝土力学和透水性能的因素

再生骨料透水性混凝土的配合比设计,应遵循透水性混凝土的结构模型^[8].通过合理的配合比参数的改变,在确保粗骨料表面被水泥砂浆充分包裹的前提下,尽可能使粗骨料间具有足够的连通空隙.这可使混凝土既满足一定的强度要求,又具有良好的透水性.通过对混凝土配比设计理论的分析,确定对透水混凝土力学性能和透水系数可能产生影响的主要因素为骨灰比 $((G+s)/c)$ 、砂率 s_p 和水灰比 (w/c) .表 2~4 分别列出了试验所用的各配合比混凝土的材料用量和理论计算空隙率 c .表中, C_0 、 G_0 、 S_0 、 W_0 和 J_{TW-10} 分别为水泥、石、砂、水和减水剂的用量.(1)再生骨料透水混凝土力学性能的测试,其抗折

表 2 不同骨灰比的混凝土配合比

$(G+s)/c$	$C_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$G_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$S_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$W_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$J_{TW-10}/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c/(\%)$
3.5	498	1 476	266	170	10	11.5
4.0	436	1 476	266	148	7	15.0
4.5	388	1 476	266	132	6	17.7

表 3 不同砂率的混凝土配合比

s_p	$C_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$G_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$S_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$W_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$J_{TW-10}/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c/(\%)$
0.10	411	1 476	164	140	4	19.8
0.15	436	1 476	266	148	7	15.0
0.20	462	1 476	370	157	6	9.9
0.25	493	1 476	493	168	7	4.3

表 4 不同水灰比的透水性混凝土配合比

w/c	$C_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$G_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$S_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$W_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$J_{TW-10}/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c/(\%)$
0.28	436	1 476	266	122	9	17.4
0.34	436	1 476	266	148	7	15.0
0.40	436	1 476	266	174	0	12.9
0.45	436	1 476	266	196	0	11.0

强度采用 40 mm×40 mm×160 mm 试件,抗压强度采用 100 mm×100 mm×100 mm 试件,用手持式平板振动器成型,成型 1 d 后拆模水中养护 28 d 再测强度.(2)再生骨料透水混凝土透水系数的测试.由于国际上还没有混凝土透水系数的标准测试仪器,本文在文[4,9,10]的基础上,制作了固定水头和可变水头相结合的透水试验装置^[11],如图 1 所示.试验时从透水圆筒上部注水,水透过混凝土试件后进入水槽,最后从定位水桶的出水口排出,注水时多余的水从溢水口溢出.当注入的水量与从出水口及溢水口流出的水量取得平衡后,在启动秒表计时的同时,量取时间 t 内从出水口排出的水量 Q .透水系数的计算公式为

$$K_T = (Q \times D) / (A \times h \times t).$$
 (1)

在式(1)中, K_T 为水温 T 时的透水系数, D 和 A 分别为混凝土试件的厚度(20 cm)及面积(186 cm²), h 为水头(cm).由于水的动力粘滞系数直接影响着渗透系数的大小,温度越高,动力粘滞系数越小,渗透系数越大,因此透水系数应换算到标准温度才具有可比性.日本混凝土工学协会把 15 定为标准温度,把不同水温下测定的透水系数换算成标准透水系数.计算公式为 $K_{15} = \mu \times K_T$, μ 为修正系数,查表可得^[8].

2.2 透水路面砖的试验研究

参照《JC/T 466-2000 混凝土路面砖标准》,确定实验室试制透水混凝土路面砖的尺寸为 250 mm×250 mm×50 mm,每个配比混凝土成型 5 个路面砖试件.混凝土采用强制式搅拌机拌和,手持式平板振动器振动成型,养护 1 d 后拆模,水中养护 28 d 后测试件的抗折强度.其计算公式为

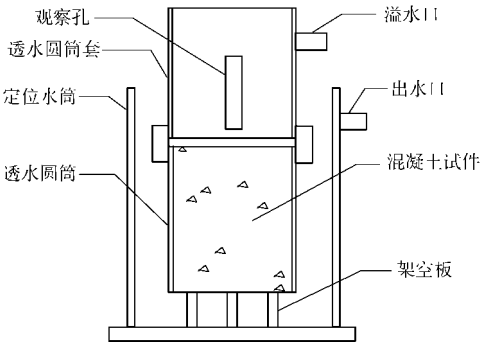


图 1 透水试验装置示意图

$$f_f = 3 Pl / 2 bh^2,$$

(2)

在式(2)中, P 为抗折荷载(kN), l 为两支座间的距离(200 mm), b 为试件的宽度(250 mm), h 为试件的厚度(50 mm).折断的试件再测试件的抗压强度,受压面积为120 mm×60 mm.同时成型3个用于测试透水系数的混凝土试件.

3 试验结果和分析

3.1 混凝土力学和透水性能结果和分析

再生骨料透水混凝土抗折强度、抗压强度和透水系数的测定结果,如表5所示.表中, k 为配合比控制系数, f_f 为抗折强度, f_{cu} 为立方体抗压强度, K_{15} 为透水系数,总功效系数 $d = (d_1 \times d_2 \times d_3)^{1/3}$, d_1 , d_2 , d_3 分别为 f_f , f_{cu} , K_{15} 的功效系数.从表5可看出,混凝土的抗折强度和抗压强度随着骨灰比的增大而降低,随着砂率的增大而增大.由于水灰比增大,水泥浆的强度降低,一般将导致混凝土强度降低.

表 5 力学及透水性能结果和功效系数分析

因数	k	f_f / MPa	f_{cu} / MPa	K_{15} / cm · s ⁻¹	d_1	d_2	d_3	d
(G+s)/c	3.5	8.53	33.8	0.67	1.000	1.000	0.713	0.893
	4.0	6.01	23.4	0.90	0.705	0.692	0.957	0.776
	4.5	4.45	21.0	0.94	0.522	0.621	1.000	0.687
s_p	0.10	4.83	19.8	1.17	0.555	0.390	1.000	0.601
	0.15	6.01	23.4	0.90	0.691	0.461	0.769	0.626
	0.20	8.49	28.4	0.36	0.976	0.559	0.308	0.552
	0.25	8.70	50.8	0.08	1.000	1.000	0.068	0.408
w/c	0.28	4.70	9.0	1.43	0.714	0.357	1.000	0.471
	0.34	6.58	25.2	1.22	1.000	1.000	0.853	0.948
	0.40	6.26	22.2	0.70	0.951	0.881	0.574	0.783
	0.45	5.64	12.8	0.46	0.857	0.508	0.377	0.548

但当水灰比过小时(如低至0.28),手持式振动器激振力不足,新拌混凝土流动性差,难以振动密实.用水量已经很低,部分水还会被再生骨料吸收,导致水泥水化程度低,强度下降较大.从表5可以看出,混凝土的透水系数随骨灰比增大而增大,随砂率的增大而降低,随水灰比的增大而降低.这与各配比混凝土理论空隙率的计算结果是吻合的,混凝土理论空隙率随骨灰比的增大而增大,随砂率和水灰比的增大而降低.在砂率和水灰比固定时,骨灰比增大,水泥浆量则减少,填充骨料空隙的水泥浆就会减少,混凝土内部的空隙率就会增加,混凝土透水性能提高.砂子是填充石子空隙的材料,在骨灰比和水灰比固定时,提高砂率也会降低石子间的空隙率,使得混凝土内部空隙率降低,混凝土透水性能下降.水泥浆在包裹骨料表面的同时,也要填充骨料间的空隙.因此,在骨灰比和砂率固定时,水灰比的提高,使得水泥浆的体积增大.虽然过量的水在水泥硬化过程中会形成孔隙,有利于提高混凝土透水性能,但会使水泥浆稠度降低,极易造成流浆.即在混凝土试件振动成型时,浆体易沉降在试件的底部,在混凝土试件表面形成一层致密的水泥砂浆层.这会使混凝土的透水性能大幅降低,甚至没有透水性,是制作透水混凝土时不应出现的现象.

为了直观地寻找到满足再生骨料透水混凝土力学性能和透水系数要求的最优配合比参数,本文采用功效系数法^[12]对抗折强度、抗压强度和透水系数测试数据进行了综合分析,如表5所示.由表5可以看出,骨灰比为3.5,砂率为0.15,水灰比为0.34时,都达到各自的最大功效系数.

3.2 透水路面砖结果和分析

为了不使减水剂的掺入影响再生骨料透水混凝土路面砖的试验结果,路面砖试件成型时水灰比固定为0.40.路面砖试件配合比参数和性能测试结果,如表6所示.从表6可以看出,再生骨料透水混凝土路面砖的抗折强度、抗压强度和透水系数随骨灰比、砂率的变化趋势与节3.1的试验结果是相同的.在通常情况下,抗压强度在20.0 MPa以上,就能满足人行道的铺设要求;抗压强度在30.0 MPa以上,能满足轻量车道的铺设要求.表6结果表明,通过配合比参数的选择,具有较好透水能力的再生骨料透

水混凝土路面砖的强度,可以满足人行道的铺设要求.降低透水能力的要求,则再生骨料透水混凝土路

表 6 透水路面砖力学和透水性能结果

试件编号	(G + s) / c	s _p / (%)	w / c	f _{ti} / MPa	f _{cu} / MPa	K ₁₅ / cm · s ⁻¹
A	3.5	25	0.40	6.5	50.3	0.23
B	4.0	20	0.40	4.7	26.9	1.66
C	4.5	15	0.40	3.4	20.5	1.76

面砖的强度能够满足《J C/ T 466 - 2000 混凝土路面砖标准》抗折强度在 4.0 MPa 以上的要求,抗压强度达到 30.0 MPa 以上,可以使用于轻量车道的铺设.

4 结束语

(1) 理论和试验结果表明,影响再生骨料透水混凝土力学性能和透水系数的主要因素是骨灰比、砂率和水灰比.再生骨料透水混凝土的抗折强度和抗压强度随着骨灰比的增大而降低,随着砂率的增大而增大,随水灰比的增大而降低;而透水系数的变化规律则与力学性能的变化规律正好相反.(2) 功效系数法可直观地确定再生骨料透水混凝土的配合比控制参数.(3) 通过配合比参数的选择,具有较好透水能力的再生骨料透水混凝土路面砖的强度,可以满足人行道的铺设要求;降低透水能力的要求,则可以使用于轻量车道的铺设.

参 考 文 献

1 王武祥. 透水透气型彩色混凝土路面砖[J]. 新型建筑材料,1995, (7): 27 ~ 29

2 王武祥. 透水性混凝土路面砖的生产与应用[J]. 混凝土与水泥制品,1998, (4): 54 ~ 56

3 杨 静,冯乃谦. 21 世纪的混凝土材料——环保型混凝土[J]. 混凝土与水泥制品,1999, (2): 3 ~ 5

4 杨 静,蒋国梁. 一种生态型道路材料——透水性混凝土[A]. 见:姚 燕,等主编. 水泥基复合材料科学与技术[C]. 北京: 中国建材工业出版社,1999. 152 ~ 156

5 陆凯安. 我国建筑垃圾的现状与综合利用[J]. 施工技术,1999, 28(5): 44 ~ 45

6 冯乃谦. 实用混凝土大全[M]. 北京:科学出版社, 2001. 252

7 陈 莹,严捍东,林建华,等. 再生骨料基本性质及对混凝土性能影响的研究[J]. 再生资源研究,2003, (6): 34 ~ 37

8 杨 静,蒋国梁. 透水性混凝土路面材料强度的研究[J]. 混凝土,2000, (10): 27 ~ 30

9 陈志山. 大孔混凝土的透水性及其测定方法[J]. 混凝土与水泥制品, 2001, (1): 19 ~ 20

10 吉青克. 大孔隙材料渗透系数的室内测定[J]. 公路交通科技,2002, 19(2): 31 ~ 34

11 王 琼,严捍东. 再生骨料透水性混凝土初步研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2004, 24(1): 32 ~ 38

12 蔡正咏,王足献. 正交设计在混凝土中的应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1981. 44 ~ 47

Pervious Pavement Bricks Made of Recycled Aggregate Concrete

Yan Handong

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract By theoretical calculation and experimental investigation, the author systematically revealed the effects of aggregate to cement ratio, sand to aggregate ratio and water to cement ratio on mechanical performance and pervious coefficient of recycled aggregate concrete. By adopting the method of effect coefficient, the control parameters of mix ratios were obtained as follows: ratio of aggregate to cement is 3.5, ratio of sand to aggregate is 0.15 and ratio of water to cement is 0.35. By optimizing the parameters of mix proportion, the compressive strength of pervious bricks made of the recycled aggregate concrete with good pervious performance, is over 20 MPa. When lowering the requirement of water permeability, the pervious bricks would meet the requirement of concrete pavement brick standard (J C/ T 466 - 2000).

Keywords recycled aggregate, pervious coefficient, effect coefficient method, concrete pavement brick