

再生修补型路用混凝土的试验研究

耿 飞¹, 秦鸿根², 金志强³

(1. 南京航空航天大学土木工程系 南京市 210016; 2. 东南大学材料科学与工程系 南京市 210096;

3. 江苏省交通厅工程质量监督站 南京市 210001)

摘 要: 利用由旧路面水泥混凝土块破碎而成的再生骨料,进行了再生修补型路用混凝土的性能试验,主要测试了其抗压强度、抗折强度、干缩变形以及抗冻性能。结果表明,所配制的再生早强型和再生快修型混凝土具有较好的力学性能和耐久性能,可用于重交通等级路面的修补。

关键词: 再生混凝土; 再生骨料; 路用性能; 快速修补

近 20 年来,随着我国国民经济和交通事业的发展,水泥混凝土路面发展很快(包括公路、城市道路及机场建设),不同类型以及不同等级的水泥混凝土路面相继出现并逐渐增多。但由于其直接承受了过于繁重的交通量、过大的轮载以及气候条件的作用,使得水泥混凝土路面的破坏现象日益严重。在旧水泥混凝土路面改建、扩建和养护维修时,会产生大量的破碎废料,若将其抛弃不仅需要大量的堆放场地,而且会造成环境污染;同时由于普通修补混凝土的强度发展较慢,势必大大降低道路的交通流量,造成相关的经济损失。因此,若将废旧水泥混凝土块破碎成再生骨料,用以部分或全部代替混凝土中的砂石,并配制成快修型或早强型的再生混凝土,不但能从根本上解决废弃混凝土的处置问题,而且能尽快地恢复道路交通,具有显著的社会效益和经济效益。

本次试验采用机械破碎法,将在某水泥混凝土路面修补时所收集的废弃混凝土破碎成一定粒径的再生骨料,选用三种外加剂分别进行了普通型(天然骨料)、再生早强型(再生骨料)和再生快修型(再生骨料)三种路面修补混凝土的配制试验,测试了三种混凝土在不同龄期的力学性能和耐久性。

1 试验原材料

水泥:32.5 级普通硅酸盐水泥;细骨料:普通河砂,细度模数为 2.6;粗骨料:5~20 mm 的瓜子片,20~40 mm 的石灰岩碎石,以及 20~40 mm 的再生

碎石,其性能见表 1 和表 2;外加剂:高效减水剂(AT),早强型复合外加剂(ZQ),快修型复合外加剂(KX);水:自来水。

表 1 石灰石和再生碎石的基本物理性能

品种	表观密度 kg/m ³	堆积密度 kg/m ³	压碎值 %	吸水率 %
再生碎石	2 530	1 265	12.0	3.60
石灰岩	2 740	1 520	10.5	0.35

表 2 粗骨料的累计筛余百分率 %

筛孔/mm	40	31.5	20	16	10	5	2.5
瓜子片	0	0	4.0	23.7	69.2	96.9	99.0
再生碎石	0	27.7	74.7	88.8	96.9	99.1	99.3
石灰石	0	32.2	87.2	94.7	99.2	99.2	99.2

2 试验设计及配合比

由于再生骨料在破碎中存在微裂缝,颗粒中包含水泥砂浆,因而与天然骨料相比,具有孔隙率高、吸水性大、强度等级低等缺点,易导致再生混凝土存在强度低、收缩大、抗冻性差等不良性能^[1~4]。对再生骨料的试验分析表明,16 mm 以上的颗粒中一般都含有石灰岩石子,而 16 mm 以下的颗粒大多数为砂浆块。为提高再生修补水泥混凝土的路用性能,试验中筛除再生混凝土碎石中 16 mm 以下的颗粒,再掺入瓜子片以制得级配良好、质量合格的再生粗骨料。试验中,再生早强型和快修型混凝土的粗骨料由

20%的瓜子片和80%的再生骨料掺配而成,而与之对比的普通型修补混凝土的粗骨料由20%的瓜子片和80%的石灰岩碎石掺配而成。

对水泥混凝土路面的修补,不但要配制出满足路用性能要求的高质量混凝土,而且还要求有足够的早期强度,以便及时开放交通。对大面积的修补要求7 d通车,而小面积的修补要求24 h通车。为此,本试验选用了早强型复合外加剂(ZQ)和快修型复合外加剂(KX)并用高效减水剂(AT)做对比,通过配合比的优化设计,来改善与提高再生混凝土的力学性能和耐久性能,特别是早期强度。试验配合比参照相关设计规范进行,具体数据可见表3。

表3 路面修补混凝土的配合比 kg

组号	水	水泥	粗骨料	细骨料	外加剂
P1	150	360	石灰石:1 254	676	1.8(AT)
Z1	155	330	再生碎石:1 193	643	54(ZQ)
K1	150	330	再生碎石:1 193	643	54(KX)

注:P1表示普通型混凝土,Z1表示再生早强型混凝土,K1表示再生快修型混凝土。

3 试验结果与分析

3.1 路面修补混凝土的物理力学性能

混凝土的物理性能试验按《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》(GB/T 50080—2002)进行;力

学性能试验按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)进行,试件尺寸为150 mm×150 mm×150 mm的立方体和150 mm×150 mm×550 mm的长方体。试验测试了新拌混凝土的坍落度和表观密度,以及硬化混凝土的抗压强度(如图1所示)和抗折强度(如图2所示),具体结果见表4。

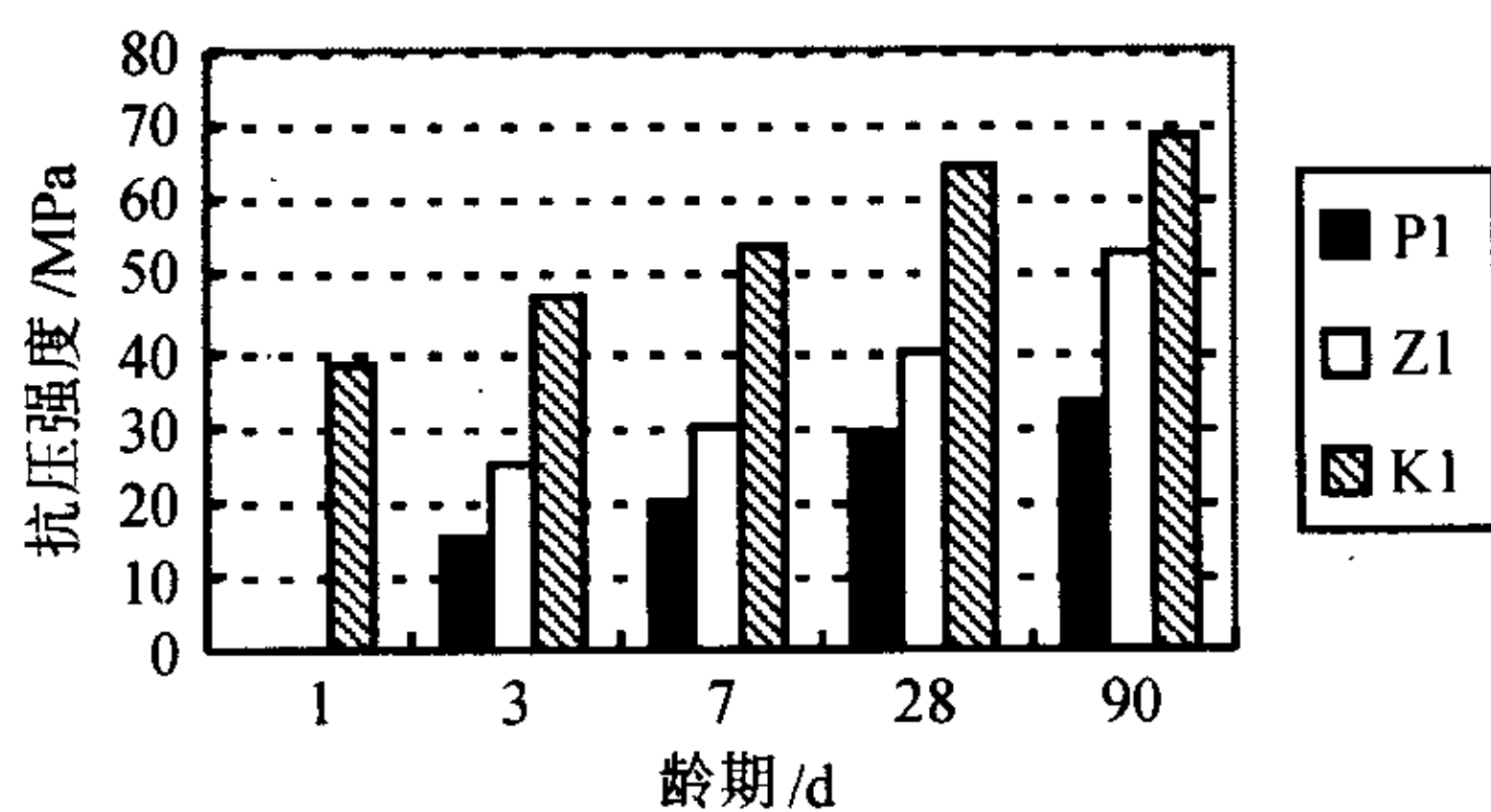


图1 路面修补混凝土的抗压强度

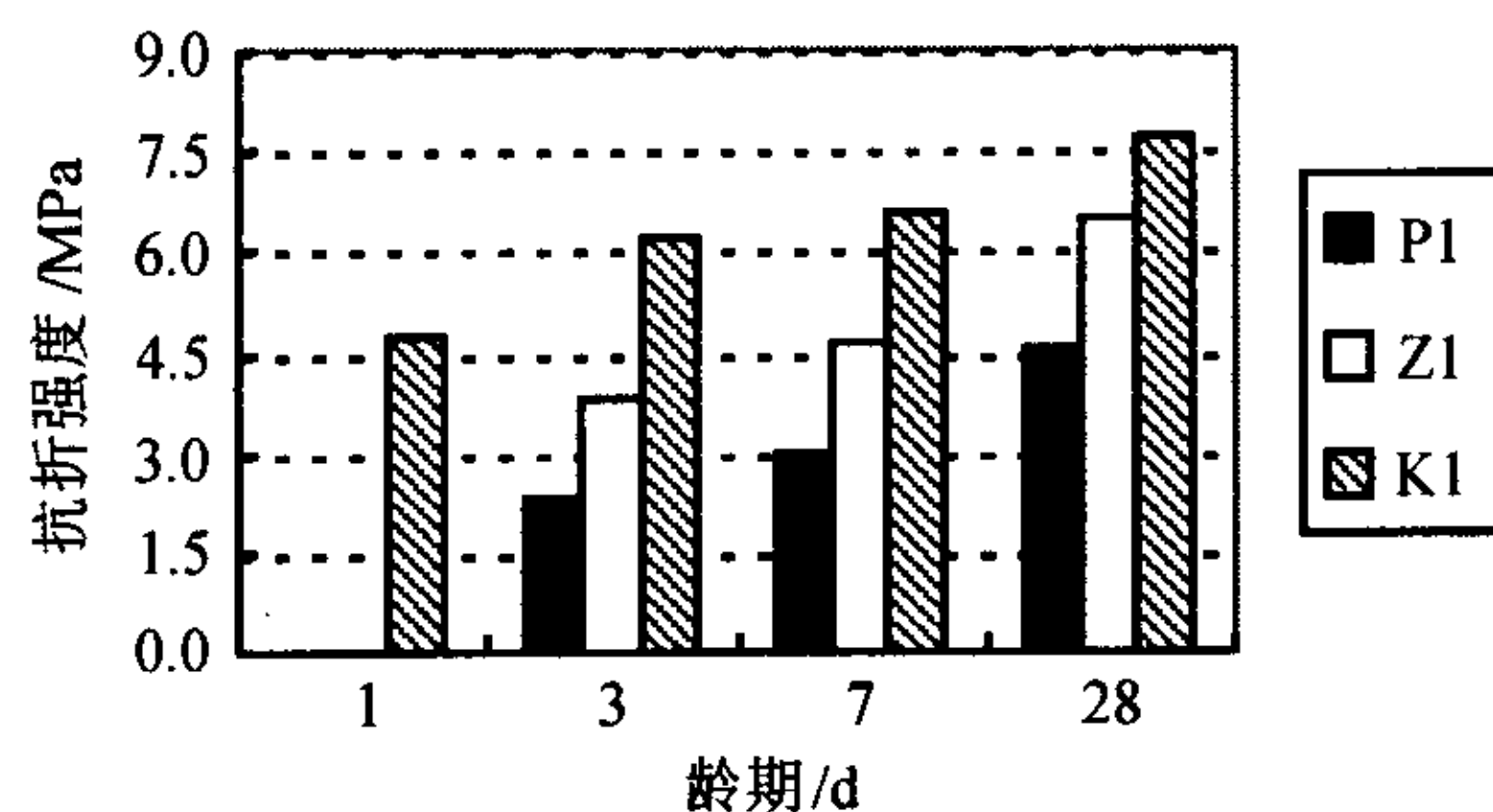


图2 路面修补混凝土的抗折强度

表4 路面修补混凝土的物理力学性能

组号	抗压强度/MPa					抗折强度/MPa				坍落度/cm	表观密度/(kg/m ³)
	1 d	3 d	7 d	28 d	90 d	1 d	3 d	7 d	28 d		
P1	—	15.2	20.2	28.8	33.3	—	2.30	3.00	4.59	2.0	2 440
Z1	—	24.4	30.1	39.2	53.0	—	3.80	4.68	6.46	1.0	2 380
K1	37.7	46.8	53.6	64.3	68.2	4.73	6.21	6.63	7.71	3.0	2 370

由表4可知,再生混凝土的表观密度要小于普通混凝土,这是由再生骨料的表观密度小于天然骨料(石灰岩)所致。由图1可知,配制的再生快修型混凝土的抗压强度明显高于再生早强型混凝土,而后者又明显高于普通型混凝土。再生快修型混凝土的1 d抗压强度达到37.7 MPa,其3 d抗压强度比普通型混凝土和早强型混凝土分别提高207.9%和91.8%;其28 d抗压强度达到了64.3 MPa,属于高强混凝土。由图2可知,再生混凝土的抗折强度显示了与抗压强度类似的变化关系。再生快修型混凝土的1 d抗折强度达到了4.73 MPa,其3 d抗折强度比普通型的和早强型的分别提高170%和63.4%。按照

《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)的要求,重交通等级路面的混凝土的抗折强度应大于5.0 MPa,由图2可知本文所配制的两类再生混凝土可用于重交通等级的路面,且其力学性能大大超过了所配制的普通型混凝土。

本试验结果表明,再生快修型混凝土路面24 h即可通车,再生早强型混凝土路面7 d即可通车,而普通型混凝土路面一般要28 d才能开放交通。

3.2 路面修补混凝土的干缩性能

在低湿度的环境中,饱和水泥浆体中的水化硅酸钙(C—S—H)凝胶体因毛细孔和凝胶孔中水分蒸发而引起的体积缩小的变形,称为干燥收缩。路面混

混凝土的干缩变形是其裂缝产生的主要原因之一,直接关系到路面混凝土结构的耐久性、行车速度和舒适程度。通常,由于再生骨料的孔隙率和吸水率较大,当其失水后将产生较大的干缩和徐变^[5],严重危害再生混凝土路面的性能。为了减小混凝土的干燥收缩,本文选用的早强型和快修型复合外加剂中含有膨胀组分,要求混凝土成型后水养或保湿养护7 d。试验中首先测试了3种修补混凝土在水中养护3 d和7 d时的自由膨胀率,然后测试了其在恒温恒湿室(温度 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$,相对湿度 $(60 \pm 5)\%$)中养护3 d、7 d、14 d、28 d、120 d和180 d时的干燥收缩,具体结果见图3(横坐标中的“3w”和“7w”分别表示在水中养护3 d和7 d)。

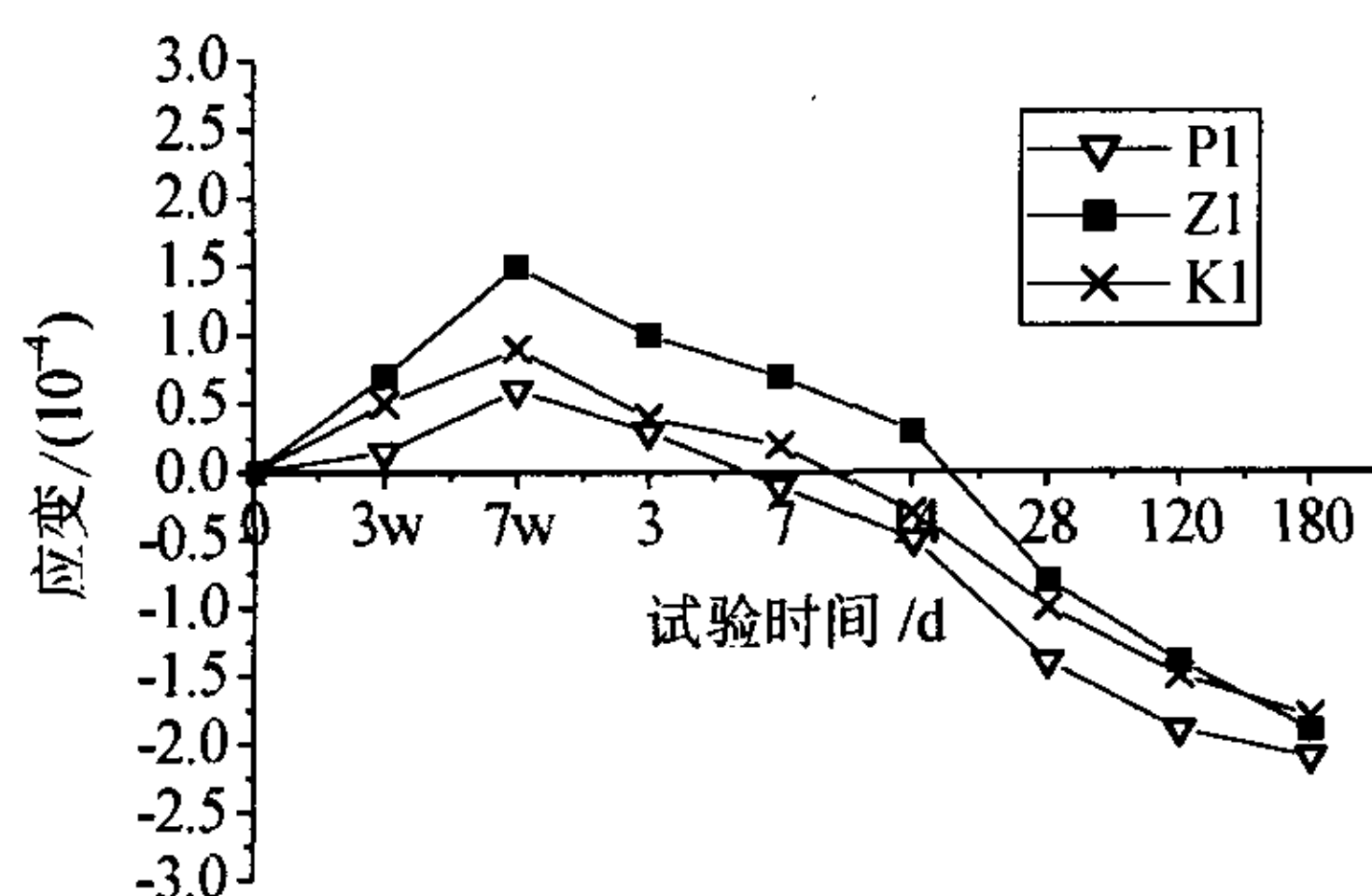


图3 路面修补混凝土的收缩变形

由图3可知,在上述原材料和配合比下,快修型和早强型再生混凝土的膨胀率明显大于普通型混凝土,而后期的干燥收缩率小于普通型混凝土,但是它们180 d后的收缩变形有接近的趋势。再生混凝土和普通混凝土一样,其收缩变形随时间的增长而增加,并且早期变化幅度较大,后期逐渐减小。因而在有限制条件的修补混凝土中,掺入膨胀型的复合外加剂,可利用混凝土早期的膨胀来补偿后期的收缩,从而提高混凝土路面的抗裂性。

再生混凝土的干缩,其根本是由于水泥石内部水分的迁移和逸失而引起,机理应相同于普通混凝土,即有毛细管张力学说、拆开应力学说和凝胶颗粒表面自由能变化学说。为提高再生混凝土的抗干缩性能,可采用三类改善措施。一是选择适当的原材料,优化混凝土配合比。二是采用限制收缩和补偿收缩的方法,前者是通过掺加纤维(钢纤维、聚丙烯纤维或混杂纤维)来实现,即利用纤维“二次增强筋”的网络结构,分散或内耗收缩应力,减少应力集中;后者是通过掺用膨胀剂来实现,其膨胀驱动力源于体积扩张的化学反应。三是采用掺加减缩剂

(Shrinkage Reducing Agent, SRA)的方法,即通过掺用减缩剂,降低孔溶液的表面张力,从而降低毛细管收缩应力。

3.3 路面修补混凝土的抗冻性能

抗冻性能是混凝土耐久性能的一个重要指标。特别是在寒冷地区,冻融循环作用往往是导致路面混凝土劣化的主要因素。本抗冻性试验参照《普通混凝土长期性能和耐久性试验方法》(GBJ 82—85)进行,采用慢冻法,测试了3种混凝土在冻融100次和200次前后的质量损失和强度损失,具体结果见表5。

表5 路面修补混凝土的冻融试验结果

组号	质量损失/%		强度损失/%	
	100次	200次	100次	200次
P1	0.25	0.20	13.7	16.5
Z1	0.20	0	14.8	21.1
K1	0.17	0	3.5	20.2

从表5中可以看出,在冻融100次时,快修型再生混凝土的质量和强度损失小于普通型混凝土,早强型再生混凝土的质量和强度损失与普通型混凝土相近,但是在经受200次冻融循环后,再生混凝土的强度损失率较普通混凝土大。不过,在未掺引气剂的情况下,两类再生混凝土都能满足200次冻融循环的要求。按照美国学者T. C. Powers提出的膨胀压和渗透压理论^[6],吸水饱和混凝土在冻融过程中遭受的破坏力主要由两部分组成:一是膨胀压力,二是渗透压力。当混凝土受冻时,这两种压力会损伤混凝土内部的微观结构,在经过多次冻融循环后,损伤逐步积累不断扩大,发展成互相连通的大裂缝,使混凝土强度逐渐降低,直到完全丧失。

依据A. Gokce^[7]等人的研究,再生混凝土的抗冻性主要取决于再生骨料表面附着的水泥砂浆的抗冻性。再生混凝土在经受冻融循环作用时,由于受到冰晶压力以及渗透压力等的作用,首先易导致再生骨料表面附着的砂浆层的开裂破坏,并从这些破坏面逐步扩展而使混凝土劣化。由于本试验中再生混凝土所用的外加剂含有膨胀性组分,因而在很大程度上提高了其密实度,改善了孔结构,有利于提高再生混凝土的抗冻性能。

4 结论

在本试验的研究条件下,通过普通型、再生早强型和再生快修型路用混凝土的配制试验和性能研

究,得到以下几点主要结论:

(1)依据试验结果,再生快修型混凝土路面 24 h 即可通车,再生早强型混凝土路面 7 d 即可通车,而普通型混凝土路面一般要 28 d 才能开放交通;

(2)将部分天然骨料和再生骨料相掺配,采用膨胀型高效外加剂,所配制的再生早强型和快修型混凝土可用于重交通等级的路面,两者 28 d 抗折强度均在 6.0 MPa 以上;

(3)通过配合比的合理设计以及采用补偿收缩技术,可提高再生混凝土的抗收缩性能,并能满足 200 次冻融循环的要求;

(4)本研究已应用于实际工程,效果良好,有助于推进和拓展再生混凝土的开发利用。

参考文献:

[1] 史巍,侯景鹏. 再生混凝土技术及其配合比设计方法[J].

建筑技术开发,2001,28(8).

[2] 陈宏俊,周婷婷. 再生水泥混凝土的研究进展[J]. 国外建材科技,2004,25(3).

[3] Nik D Oikonomou. Recycled concrete aggregates [J]. Cement & Concrete Composites, 2005, 27.

[4] Limbachiya M C, Leelawat T, Dhir R K. Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete [J]. Materials and Structures, 2000, 33.

[5] 肖建庄,李佳彬,兰阳. 再生混凝土技术研究最新进展与评述[J]. 混凝土,2003,(10).

[6] 马强,朋改非,刘叶锋. 复合外加剂对混凝土抗冻性能的影响[J]. 混凝土,2005,(1).

[7] A Gokce, S Nagataki, T Saeki, et al. Freezing and thawing resistance of air-entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate: The role of air content in demolished concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34.

A Study on Performance Test of Recycled Concrete for Repairing Concrete Pavements

GENG Fei¹, QIN Hong-gen², JIN Zhi-qiang³

(1. Department of Civil Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Department of Materials Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

3. Project Quality Supervision Station, Department of Communications of Jiangsu Province, Nanjing 210001, China)

Abstract: The performance tests of using the recycled concrete to repair the damaged pavement are carried out, in which the old pavement is crushed to be recycled aggregate. By measuring the compressive strength, flexural strength, drying shrinkage and freeze-thaw durability, it is shown that both the early-strength and the rapid-repairing recycled concrete have good mechanics performance and durability, which can be utilized to repair the heavy traffic pavements.

Key words: recycled concrete; recycled aggregate; pavement performance; rapid repair

树立全寿命成本理念、避免早期返修

交通部发出的《关于防治高速公路沥青路面早期损坏的指导意见》(以下简称《意见》),要求各级交通主管部门和工程勘察设计、施工、监理、质量监督和养护管理单位,认真贯彻落实科学发展观和建设资源节约型社会的要求,按照“增强质量意识,完善综合设计,严格施工控制,加强养护管理”的原则,做好高速公路沥青路面早期损坏防治工作。

近年来,我国公路建设迅速发展的同时,一些高速公路的沥青路面出现了早期损坏现象。《意见》要求增强质量意识,从贯彻落实科学发展观的高度,充分认识高速公路沥青路面早期损坏的危害,采取切实措施,完善工程质量管理体系。

《意见》要求,各级质量监督机构要委托具有公路质量检测资质的单位对工程质量进行不定期独立检测,对伪造试验数据的单位和个人,要严肃处理。设计单位要树立全寿命成本理念,加强调查与材料试验工作。监理单位要认真履行职责,加强质量动态监控,独立完成各项现场试验检测工作。施工单位要不断提高施工人员的整体素质和质量意识,建立健全施工自检体系,并落实到各道工序的施工责任人与自检责任人,做到层层把关,分级负责,精心施工。

《意见》还鼓励工程建设向设计与施工总承包的模式发展,适当延长质量保证期,促使承包商用心设计、精心施工。