

文章编号: 0451-0712(2005)12-0161-05

中图分类号: U414.103

文献标识码: A

二灰稳定再生集料的劈裂试验研究

王军龙¹, 肖建庄²

(1. 西安铁路运输学校土木工程系 西安市 710600; 2. 同济大学土木工程学院 上海市 200092)

摘 要: 采用石灰、粉煤灰及再生混凝土集料为原料,配制成二灰稳定再生集料。通过劈裂试验等,对不同配比的二灰稳定再生集料的28 d 间接抗拉强度进行了研究,分析了混合料的组成成分对其间接抗拉强度的影响,并将其与同等条件下的普通二灰稳定集料进行了对比试验。最后根据试验结果建立了它们之间的回归关系,为二灰稳定再生集料的工程应用提供一些有益的参考和建议。

关键词: 再生混凝土集料(RCA); 二灰稳定集料(ASFL); 二灰稳定再生集料(RSFL); 劈裂强度

在公路路面的典型结构设计中,不仅要求路面基层有较高的抗压强度和抗压回弹模量,而且还应具备较高的抗拉强度,而劈裂强度作为反映路面基层间接抗拉性能的一个重要指标,对基层的力学和抗变形性能都有很大的影响。目前,用于路面基层建设的材料有许多类型和种类,其中,二灰稳定集料(Aggregate Stabilized by Fly ash - Lime,简称ASFL)作为一种高等级的路面基层材料,它以其良好的力学性能、板体性、水稳定性和较好的抗冻性等优点,已受到工程技术人员的普遍认可,随着人们对ASFL研究的日趋深入,已逐渐形成了一套较为完

整的ASFL应用规程^[1~3]。然而,伴随着我国公路建设的产业化发展,人们对公路建设的观念,已由过去的单纯追求工程质量而很少考虑环保和节能,逐渐向集质量、环保和节能于一体的方向发展。因此,充分利用再生材料作为道路建筑材料,就不失为一种既经济又环保的理想选择。

在二灰稳定集料的混合料中,若能将天然集料(Natural Concrete Aggregate,简称NCA)用废弃混凝土加工而成的再生集料^[4](Recycled Concrete Aggregate,简称RCA)来代替,形成二灰稳定再生集料(Recycled Concrete Aggregate Stabilized by

基金项目:上海市科学技术委员会重大科研项目(编号02DZ12140)
收稿日期:2005-05-16



Two Indexes for Evaluating Water Damage Resistibility of Asphalt Mixtures

CHEN Xin¹, DING Li²

(1. Hengyang Municipal Highway and Bridge Construction Co. Ltd, Hengyang 421001, China;
2. Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: On the basis of differentiating water sensitivity and water stability, the use of eroding and freezing and thawing tests to simulate water damage in bituminous surface is advanced and a new index (residual split strength) put forward. The new evaluation method using two indexes (split strength ratio and residual split strength) for evaluating water damage resistibility of asphalt mixtures is developed, which reinforces the water stability evaluation in the criterion.

Key word: water sensitivity; water stability; split strength; residual split strength

Fly ash—Lime,简称 RSFL),不仅可以有效地节约天然资源,充分利用废弃材料,而且还有利于保护环境。为加速我国废弃资源的开发和利用,本文从环保节能角度出发,拟对不同配合比的 RSFL 的劈裂强度进行试验和研究,并将其与相同配合比的 ASFL 的劈裂强度加以对比,以测定其组成成分对劈裂强度的影响,为其在道路基层中的应用提供理论参考。

1 试验方案设计

1.1 试验原材料

水泥:采用海螺牌 32.5(R)普通硅酸盐水泥,其表观密度 3.10 g/cm³,细度 3 500 cm²/g,体积安定性合格。石灰:采用钙质消石灰,有效CaO+MgO 的含量为61.2%,含水量28%,品质Ⅱ级。粉煤灰:采用某电厂粉煤灰,其SiO₂+Al₂O₃ 的含量为75.6%,烧失量为8.1%,含水量为22%,细度2 700 cm²/g,品质优良。水:采用自来水。

集料:RCA 采用上海某机场跑道废弃混凝土加工而成,NCA 采用天然碎石。RCA 和 NCA 的筛分结果和基本性能分别见表 1 和表 2。

表 1 集料的筛分通过率

筛孔尺寸/mm	30	20	10	5	2	1	0.5	0.075
高等级公路基层规范碎石通过率/%	100	85~100	60~80	30~50	15~30	—	10~20	0~10
RCA 的筛分通过率%	100	91.8	61.6	38.1	24.4	—	14.9	8.6
NCA 的筛分通过率%	100	92.3	57.7	43.5	18.6	—	10.1	5.3

表 2 集料的基本性能

集料类型	$\frac{\text{表观密度}}{\text{g/cm}^3}$	$\frac{\text{堆积密度}}{\text{g/cm}^3}$	$\frac{\text{吸水率}}{\%}$	$\frac{\text{含泥量}}{\%}$	针片状含量/%	洛杉矶磨耗/%	压碎指标/%	硫酸盐腐蚀/%
RCA	2.32	1.16	9.25	2.16	6.1	26.7	15.2	3.06
NCA	2.61	1.35	6.02	1.80	12.0	18.5	9.8	1.12

由表 1 的筛分结果可以看出,与规范路用基层碎石相比,本次试验中的 RCA,其级配满足较高等级公路基层规范^[5]的要求。在表 2 集料的基本性能试验中,RCA 的含泥量为经过冲洗后的含泥量。另外,虽然基层材料对集料的耐磨性没有要求,但是作为一个参考指标,本次试验中对集料的洛杉矶磨耗率也进行了测试。

1.2 试验方案设计

为了最大限度地回收和利用再生资源,本文经过方案比选,结合路面基层建设常用的几种骨架密实型 ASFL 的配合比,各拟定出了 4 组不同的配合比,RSFL 和 ASFL 的组分、编号及设计配合比分别见表 3 和表 4,其中,在表 3 的 RD 和表 4 的 AD 两组中,均使用少量的水泥代替了部分石灰,且各类材料的配合比均采用干料质量比。

表 3 28 d 不同配合比的 RSFL 的劈裂强度

分组	编号	试验配合比	试件的成型干密度 $\gamma_s/(\text{g/cm}^3)$	试件的成型含水量 $W_s/\%$	劈裂强度平均值 \bar{R}_i/MPa	标准差 S	偏差系数 $C_v/\%$	95%的概率值 $R_{i,0.95}$ ($=\bar{R}_i-1.645S$)
RA	RA1	5 : 10 : 85	1.88	9.83	0.11	0.01	11	0.09
	RA2	4 : 11 : 85	1.93	10.55	0.13	0.02	15	0.10
	RA3	3 : 12 : 85	1.90	10.45	0.09	0.01	13	0.07
RB	RB1	6 : 14 : 80	1.89	11.10	0.15	0.03	19	0.10
	RB2	5 : 15 : 80	1.91	11.65	0.19	0.02	10	0.16
	RB3	4 : 16 : 80	1.86	11.57	0.18	0.03	14	0.14
RC	RC1	7 : 18 : 75	1.80	11.55	0.19	0.02	11	0.16
	RC2	6 : 19 : 75	1.88	12.10	0.22	0.03	15	0.17
	RC3	5 : 20 : 75	1.82	11.82	0.16	0.03	16	0.12
RD	RD1	3 : 4 : 11 : 82	2.05	11.05	1.32	0.18	14	1.02
	RD2	4 : 5 : 15 : 76	1.92	11.56	1.27	0.17	13	1.00
	RD3	3 : 7 : 18 : 72	1.81	11.65	1.19	0.17	14	0.92

表 4 28 d 不同配合比的 ASFL 的劈裂强度

分组	编号	试验配合比	试件的成型干密度 $\gamma_s/(g/cm^3)$	试件的成型含 水量 $W_s/\%$	劈裂强度平均 值 \bar{R}_i/MPa	标准差 S	偏差系数 $C_v/\%$	95% 的概率值 $R_{i,0.95}$ ($=\bar{R}_i-1.645S$)
AA	AA1	5 : 10 : 85	2.27	8.66	0.07	0.01	15	0.05
	AA2	4 : 11 : 85	2.13	8.55	0.09	0.01	12	0.07
	AA3	3 : 12 : 85	2.09	8.27	0.07	0.01	14	0.05
AB	AB1	6 : 14 : 80	2.15	9.15	0.12	0.01	10	0.10
	AB2	5 : 15 : 80	2.06	8.95	0.16	0.02	11	0.13
	AB3	4 : 16 : 80	1.97	8.91	0.13	0.02	14	0.10
AC	AC1	7 : 18 : 75	2.03	9.95	0.15	0.02	12	0.12
	AC2	6 : 19 : 75	1.96	9.70	0.18	0.02	10	0.15
	AC3	5 : 20 : 75	1.91	9.65	0.17	0.02	14	0.13
AD	AD1	3 : 4 : 11 : 82	2.13	9.48	1.11	0.17	15	0.84
	AD2	4 : 5 : 15 : 76	2.10	9.65	1.06	0.14	13	0.83
	AD3	3 : 7 : 18 : 72	1.91	10.22	1.03	0.13	13	0.81

试验在同济大学道路与交通教育部重点实验室和工程材料实验室完成。考虑到 RSFL 是一种新型的无机结合料,因此,对其试验工序进行了严格控制,所有混合料均采用强制式搅拌机进行拌和,各项试验中的试件成型参数、数量、质量、养护条件及测试内容,均参照有关试验规程^[1]和设计规范^[5]来完成。

1.3 试验现象

(1)在静压法成型试件的过程中发现,按照理论含水率拌和的 RSFL,在试件成型过程中有大量的水分溢出,形成了一种明显的“假性吸水”现象。经过分析认为,在混合料拌和初期,由于 RCA 表面粗糙,孔隙率较大,所以能够吸收大量的水分,甚至达到了微饱和状态。这样,在外力的作用下,其料粒之间就会相互挤密和压实,这时储藏在 RCA 中的水分就会迅速释放出来,而且释放出来的这部分水分已经大大超出了粉煤灰对水的调节范围,使得多余的水分就会迅速溢出,从而形成了“假性吸水”现象,这也使得 RSFL 的真实含水率和理论计算值相差较大。相对于 RSFL 而言,在 ASFL 试件成型过程中,并没有出现这种情况,这一点在工程应用中应特别引起注意。

(2)使用静压法成型的试件,由于偶然因素或人为因素的影响,在试件成型的过程中,个别试件出现了少量细小的竖向裂缝,为了考察这些细小裂缝对试验结果的影响,在养护过程中对这些试件均做了特殊的标记,以观察这些细小裂缝的变化和发展趋势。经过不同龄期的养护后,发现这些细小的裂缝部分逐渐自动愈合,且愈合的速度在 7 d 内较快,而 7 d

后逐渐减慢。分析认为,ASFL 和 RSFL 的裂缝自动愈合现象主要是石灰与粉煤灰之间的连续火山灰反应所致,在良好的湿养护条件下,ASFL、RSFL 中二灰之间的火山灰反应生成了大量的水化硅酸钙和水化铝酸钙凝胶体,这对愈合因干缩和温缩作用而产生的开裂有一定的好处。因此,在工程应用中,虽然不能期望所有的裂缝能够自动闭合,或愈合效应发生在较宽裂缝处,但这一特征可以明显改善基层混合料的缩裂性能,提高基层的抗拉性能。

2 试验结果

通过规范试验,得到不同配合比的 RSFL 和 ASFL 的 28 d 劈裂强度见表 3 和表 4。表中试件的成型干密度和成型含水量取同组试件的平均值。

3 试验结果分析

3.1 试验结果与规范的对比

根据规程^[1]的要求,劈裂强度中试件($\phi 100\text{ mm}\times 100\text{ mm}$)的试验偏差系数 C_v 不能大于 15%。由表 3 中试验结果可以看出,在 RSFL 的试验结果中,除 RB1 和 RC3 两组的 C_v 超出了规程允许范围,其余均在规程允许的误差范围之内,但在试验中考虑到 RSFL 是一种新型的基层材料,并没有对其做特殊处理。而在表 4 中 ASFL 的偏差系数 C_v 均在规程允许范围之内。另外,在规程中虽然没有明确指出 ASFL 28 d 的劈裂强度范围或参考值,但本文中 ASFL 28 d 的劈裂强度试验值与相关文献^[6]中的试验结果非常接近。

3.2 混合料的组分成分与劈裂强度的关系

通过对表 3 和表 4 中试验数据的回归,得到图 1~图 4,下面结合图表对 RSFL 和 ASFL 的劈裂强度进行对比分析。本文分析中所提到的二灰比是指石灰与粉煤灰的质量之比。

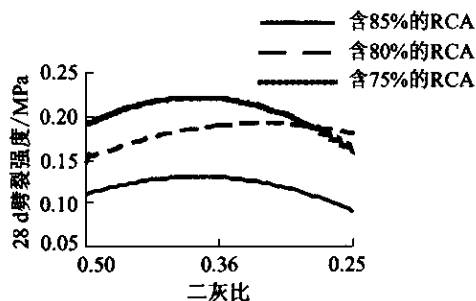


图1 二灰比与 28 d 劈裂强度的关系

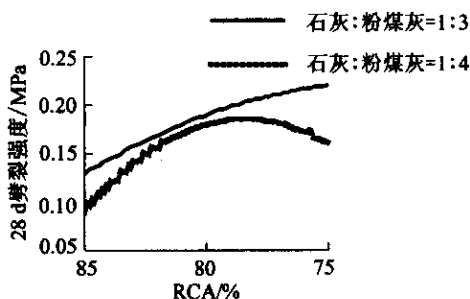


图2 RCA 的含量与 28 d 劈裂强度的关系

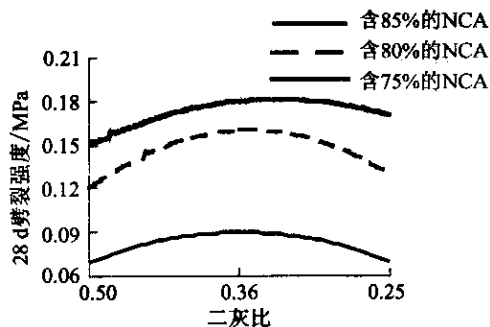


图3 二灰比与 28 d 劈裂强度的关系

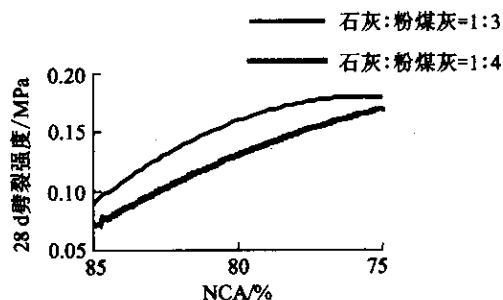


图4 NCA 的含量与 28 d 劈裂强度的关系

(1)二灰比、RCA 的含量与 RSFL 劈裂强度的关系。

由图 1 中二灰比与 RSFL 28 d 劈裂强度的关系曲线可以看出,当二灰比在 0.36(近似 1 : 3)附近, RCA 的含量在 75% 时, RSFL 的劈裂强度最大,即混合料的间接抗拉性能相对较高。而由图 2 可以看出,随着 RCA 的含量逐渐减小,对应的劈裂强度由于二灰比的不同也有所差异,当 RCA 的含量在 80% 左右时,二灰比对劈裂强度的影响较小,而当 RCA 含量在 75% 和 85% 时,二灰比对劈裂强度的影响反而变大。所以,综合图 1 和图 2 分析可知,当二灰比在 1 : 3, RCA 的含量在 75%~80% 左右时, RSFL 的劈裂强度较高,抗拉性能较好。

(2)二灰比、NCA 的含量与 ASFL 劈裂强度的关系由图 3 中二灰比与 ASFL 28 d 劈裂强度之间的关系曲线可以看出,当 ASFL 中的二灰比在 0.36(近似比 1 : 3)附近, NCA 的含量在 75% 时, ASFL 的劈裂强度最大,混合料的抗拉性能最强。由图 4 可知,二灰比为 1 : 3 时的劈裂强度大于 1 : 4 时的劈裂强度,且 ASFL 的劈裂强度随着 NCA 含量的减少而逐渐增大,这与 RSFL 的变化趋势基本一致。

另外,将表 3 和表 4 中 RSFL 和 ASFL 的相应数值对比可知,对于相同配合比的混合料, RSFL 28 d 的劈裂强度略大于 ASFL,即 RSFL 的早期抗拉性能要好于 ASFL。这主要是因为 RSFL 的细集料中一般含有一些成分较为复杂的活性物质^[7],这些活性物质能够与混合料中的其他成分发生反应,形成一些水硬性的物质,从而导致了 RSFL 的早期劈裂强度略大于相同配合比的 ASFL,但是这些活性物质的反应产物,可能会对 RSFL 的长期性能产生一定的不利影响。

(3)掺入水泥后的劈裂强度。

将表 3 和表 4 中掺入少量水泥后的 RD 和 AD 两组,与同类其他配合比的混合料相比,28 d 劈裂强度均有较大的提高,因此,如果要缩短工期,提高基层的早期强度,可以考虑使用少量水泥代替部分石灰。

3.3 RSFL 与 ASFL 的劈裂强度回归方程

通过对表 3 和表 4 中 28 d 劈裂强度回归,得出了混合料的组成成分与其 28 d 劈裂强度之间的回归方程,见表 5 和表 6。

表 5 混合料中二灰比(x)与 28 d 劈裂强度(y)的关系方程

	ASFL	RSFL
含 85% 的集料	$y = -0.02x^2 + 0.08x + 0.01$	$y = -0.03x^2 + 0.11x + 0.03$
含 80% 的集料	$y = -0.035x^2 + 0.145x + 0.01$	$y = -0.025x^2 + 0.115x + 0.06$
含 75% 的集料	$y = -0.02x^2 + 0.09x + 0.08$	$y = -0.045x^2 + 0.165x + 0.07$

表 6 混合料中集料的含量(x)与 28 d 劈裂强度(y)的关系方程

	ASFL	RSFL
二灰比=1:3	$y = -0.025x^2 + 0.145x - 0.03$	$y = -0.015x^2 + 0.105x + 0.04$
二灰比=1:4	$y = -0.01x^2 + 0.09x - 0.01$	$y = -0.055x^2 + 0.255x - 0.11$

在表 5 和表 6 中,二灰比的适用范围为(1:2~1:4),集料的含量为 75%~85%,这些配合比基本可以满足普通路面基层的设计要求。因此,表5 和表 6 中的回归方程可以作为检验 RSFL 和 ASFL 工程配合比的一个有效方法,也可以作为工程应用的一个有益参考。

4 结论与建议

(1)本文中的试验现象表明,RSFL 和 ASFL 都有裂缝自愈合功能,但 RSFL 存在着明显的“假性吸水”现象,这一点在工程应用中应引起工程技术人员和施工单位的足够重视。

(2)本文的试验结果证明,当二灰比为 1:3 左

右,集料的含量为 75%~80%时,RSFL 和 ASFL 的劈裂强度均较大。另外,如果要提高 RSFL 和 ASFL 的早期劈裂强度,可以考虑使用少量的水泥代替部分石灰。

(3)本文的劈裂强度回归方程,可以为 RSFL 和 ASFL 在工程中的应用提供参考和检验标准。

(4)RSFL 的干缩、温缩和长期性能等还有待于进一步研究。

参考文献:

[1] CJJ 4—97,粉煤灰石灰道路基层施工及验收规程[S].
[2] Japanese Road Association. Guideline for Recycling Pavement Technology in Plant [M]. In Japanese. Demolition and Reuse of Concrete,1993.
[3] Lauritzen E K. Guidelines for Demolition and Reuse of Concrete and Masonry [M]. E&FN SPON, Denmark. Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 1993.
[4] 肖建庄,李佳彬,等. 再生混凝土技术最新研究进展与评述[J]. 混凝土,2003,(10).
[5] JTG D40—2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].
[6] 杨锡武,编著. 公路水泥混凝土路面典型结构设计方法[M]. 人民交通出版社,2002.
[7] ACPA. Concrete Paving Technology, Recycling Concrete Pavement [M]. American Concrete Pavement Association, Skokie, IL, 1993.

Research on Split Test of Recycled Concrete Aggregate Stabilized by Fly-Ash and Lime

WANG Jun-long¹, XIAO Jian-zhuang²

(1. Department of Civil Engineering, Railway Transport School of Xi'an, Xi'an 710600, China;
2. School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this paper, the recycled concrete aggregate stabilized by fly-ash and lime (RSFL) is designed and made from lime, fly-ash and recycled concrete aggregate (RCA). On the basis of the split test, the 28 d indirect tensile strength of RSFL is tested, and influences of ratio of lime to fly-ash and content of recycled concrete aggregate on the split test of RSFL are also undertaken, then the results of split test and the ordinarily concrete aggregate stabilized by fly-ash and lime (ASFL) are contrasted on the same condition. Finally, according to the results of split tests, the relations of regression curves are established, and these conclusions would offer reference and suggestion for civil engineering.

Key words: recycled concrete aggregate (RCA); aggregate stabilized by fly-ash and lime (ASFL); recycled concrete aggregate stabilized by fly-ash and lime (RSFL); split strength