

文章编号:1671-8879(2009)02-0005-04

有干涉条件的二灰稳定类材料骨架状态评价

李炜光^{1,2}, 申爱琴¹, 孙洪得¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061)

摘要:选取了 3 种级配、4 种富余量共 12 种典型二灰砂砾混合料方案, 对其在不同干涉程度下混合料骨架状态变化特性进行了研究, 提出采用平均粒径间距指标建立混合料中粗集料排列状态, 据此借助图像分析技术对试验结果进行了分析。结果表明: 骨架面积指数和二灰胶砂富余量线形关系良好, 可用于评价干涉条件下混合料骨架状态; 通过建立的骨架面积修正指数与二灰胶砂富余量关系曲线, 发现当二灰胶砂富余量介于 50%~100% 之间时, 因干涉导致的骨架面积修正指数处于最小波动范围。

关键词:道路工程; 二灰砂砾混合料; 二灰胶砂富余量; 平均粒径间距; 骨架面积指数

中图分类号: U414.1

文献标志码: A

Skeleton state evaluation of lime-flyash-stabilized-material under interference condition

LI Wei-guang^{1,2}, SHEN Ai-qin¹, SUN Hong-de¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an

University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Materials Science and

Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: 12 kinds of lime-flyash-gravel mixture with 3 gradations and 4 margins were designed. The changing features of skeleton state of these mixtures under different interference strengths were studied. The arranging state of coarse aggregate was built according to the average-grain-space-index. The test datum were analyzed by photo technology. The results show that: the skeleton-area-index has a good linear relationship with lime-flyash-mortar-margin, and this relationship can be used to evaluate the skeleton state; the relation curve of skeleton-area-modified-index with lime-flyash-mortar margin can be figured, and it can be found that skeleton-area-modified-index change induced by interference is within the smallest bound when lime-flyash-mortar-margin is from 50% to 100%. 3 tabs, 4 figs, 12 refs.

Key words: road engineering; lime-flyash-gravel mixture; lime-flyash-mortar margin; average-grain-space; skeleton-area-index

收稿日期: 2008-04-10

基金项目: 浙江省交通科技项目(2007H21)

作者简介: 李炜光(1971-), 男, 陕西西安人, 副教授, 工学博士, E-mail: lwg9055@163.com.

0 引言

实践表明,骨架结构混合料路用性能优良^[1-6]。因此,此类结构混合料一直是大家研究的重点,而对于骨架状态的评价主要以粗集料插捣孔隙率(VCA_{DRC})大于粗集料骨架间隙率(VCA_{MITX})进行。但是,实际上绝大多数混合料都有干涉存在,尤其对二灰稳定类材料,当结合料体积占到混合料总体积的65%以上时^[7-8],干涉最为严重。因此,对有干涉条件时的混合料骨架状态评价有较高的研究与应用价值。为此,本文选取了最为接近球状颗粒二灰砂砾混合料^[9],对其在不同干涉程度下的骨架面积变化规律进行了研究。

1 基本概念

原材料技术指标详见参考文献[10-12],集料选取了规范推荐级配 k-4、骨架级配 k-8 和 k-10,共选用 3 种集料级配进行室内测试与分析。

1.1 二灰胶砂富余量

为评价结合料对粗集料干涉影响程度,根据参考文献[7],选取了与混合料使用性能密切相关且占混合料总体积 65% 的二灰胶砂富余量指标,则二灰胶砂富余量为

$$L_F = \left(\frac{L_s}{L_L} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$L_L = Vn\rho_{lf} \quad (2)$$

式中: L_F 为二灰胶砂富余量; L_s 为二灰胶砂实际用量; L_L 为二灰胶砂理论用量; V 为体积; n 为粗集料插捣空隙率; ρ_{lf} 为二灰胶砂最大干密度(g/cm^3)。

上述方案中二灰胶砂富余量指标如表 1 所示。

表 1 二灰胶砂富余量指标

级配 类型	不同筛孔(mm) 通过率/%									富余 量/%
	37.5	31.5	19	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075	
k-4	100	92.5	75	60	45	35	26	18.5	7.5	122.6
k-8	100	75.0	60	43	30	25	17	11.0	5.0	63.0
k-10	100	65.0	50	33	20	15	7	1.0	0	37.7

注:富余量含量为体积分数

1.2 骨架面积指数

为评价骨架结构,提出了测试难度低、与路用性能联系密切的骨架面积指数。

1.2.1 基本假设

试件内部粗集料颗粒分布均匀,各向同性,所以,在切面上均匀分布;考虑到颗粒间距不易测试,选取与粒径间距密切相关的参数——粗集料截面积为评价指标,如图 1 所示。

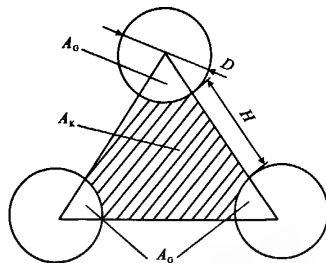


图 1 截面积的计算

切面中空隙与集料面积的计算式分别为

$$\text{空隙截面面积} \quad A_K = \frac{\sqrt{3}}{4}(D+H)^2 - \frac{1}{8}\pi D^2 \quad (3)$$

$$\text{粗集料截面面积} \quad A_G = \frac{1}{8}\pi D^2 \quad (4)$$

式中: D 为实际截面换算成等面积圆后的直径(cm); A_G 为粗集料截面面积(cm^2); A_K 为粗集料以外面积(也称空隙截面面积, cm^2); H 为相邻颗粒最小公切圆直径,即平均间距(cm)。

据此,提出理论骨架面积指数 I_T (Theoretical Skeleton Area Index),该指数是指单位截面积中骨料面积所占的比例,其计算式为

$$I_T = \frac{A_G}{(A_K + A_G)} = \frac{\pi D^2 / 8}{\sqrt{3}(D+H)^2 / 4} \quad (5)$$

联立式(3)、式(4)和式(5),求出 H

$$H = D \left[\sqrt{\frac{\pi}{2\sqrt{3}I_T}} - 1 \right] \quad (6)$$

1.2.2 骨架面积指数的计算

骨架面积指数 I_G 指的是试件截面中骨料截面面积 A_{GS} 与试件全部截面积 A_Q 的比值;此外,考虑到测试误差以及假设可能造成的误差,将截面中实际骨料截面面积 A'_{GS} 与理论骨架截面面积 A_{GL} 之差占试件实际截面积 A'_Q 的百分比命名为骨架面积修正指数 I_{GX} ,见式(7)、式(8)。

$$\text{理论骨架面积指数} \quad I_L = A_{GL} / A_Q$$

$$\text{实际骨架面积指数} \quad I_{GS} = A'_{GS} / A'_Q \quad (7)$$

$$\text{骨架面积修正指数} \quad I_{GX} = I_L - I_G \quad (8)$$

2 测试结果分析

2.1 骨架面积指数计算方法

选取与表 1 中级配 k-4、k-8、k-10 相对应的 3 种典型方案(K4、K8、K10 方案),为研究二灰胶砂富余量和骨架状态性能关系,分别成型富余量为 0%、50%、100%、150% 试件,养护到规定龄期后进行切割;然后,采用高分辨率数码相机和计算机识别系统对试件剖面进行图像处理,处理效果见图 2(见下

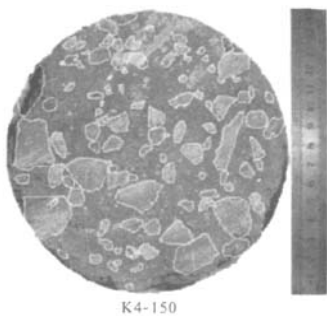


图 2 混合料截面图像处理

页);性能测试见参考文献[12]。

2.2 理论与实测骨架面积指数差值分析

根据理论骨架面积指数和实测骨架面积指数,计算出骨架面积修正指数,如表 2 所示。

将上述方案理论骨架面积指数以及实测骨架面积指数对比,结果如图 3 所示。

表 2 理论与实测骨架面积指数的结果对比

方案 代号	A_T (实测) cm^2	A_K (理论) cm^2	A_G (理论) cm^2	A_G (实测) cm^2	I_L	I_G (实测)	I_{Gx}
K4-0	176.71	16.45	160.26	105.74	0.91	0.60	0.309
K4-50	176.71	38.88	137.83	87.36	0.78	0.49	0.286
K4-100	176.73	63.32	113.41	62.63	0.64	0.35	0.287
K4-150	176.74	90.77	85.97	52.90	0.49	0.30	0.187
K8-0	176.70	16.45	160.24	106.61	0.91	0.60	0.304
K8-50	215.27	52.47	162.80	101.60	0.76	0.47	0.284
K8-100	213.83	87.95	125.88	67.31	0.59	0.31	0.274
K8-150	215.68	131.07	84.60	52.02	0.39	0.24	0.151
K10-0							
K10-50	176.71	44.62	132.09	84.08	0.75	0.48	0.272
K10-100	176.72	76.21	100.51	53.32	0.57	0.30	0.267
K10-150	176.71	113.96	62.74	36.98	0.36	0.21	0.149

注:方案代号 K8-0 表示 K8 粗集料方案,富余量为 0; A_T (实测)为实际截面总面积(cm^2); A_K (理论)为对应实际截面理论空隙面积(cm^2); A_G (理论)为对应实际截面的理论骨料截面面积(cm^2); A_G (实测)为截面中骨料实际截面面积(cm^2)。

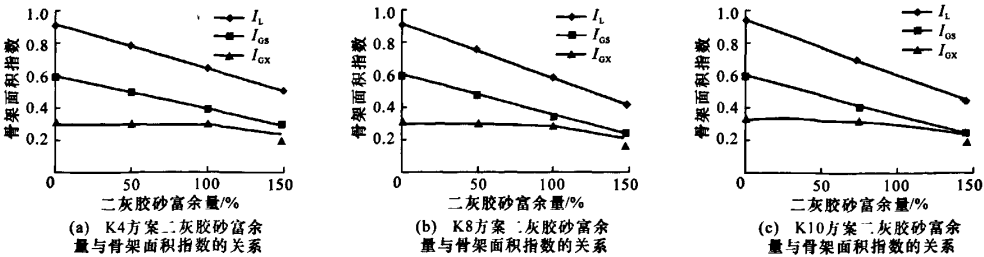


图 3 理论与实测骨架面积指数

从表 2 中可以看出,理论与实际有一定的误差,分析其原因主要有两方面。

- (1)干涉误差。当前一档粒料的粒径间距小于后一档粒料的粒径时,会形成粒料的分布干涉,造成粒料的“不均匀分布”,所以切面时产生干涉误差。
- (2)系统误差。由于在计算时,根据颗粒分布均匀、各向同性假设,切面均为中间截面,但是,在实际切割中,由于集料波动,会产生系统误差。

由图 3 可见,二灰胶砂富余量小于 100%,集料颗粒分布趋于均匀,计算值与测试值间差值随之趋于稳定;当富余量进一步减少,降低至小于 50%时,由于此时粗集料含量(质量分数)过大,集料颗粒间接触增加,因集料颗粒干涉导致误差增大,所以,骨架面积修正指数值略有增大。而当二灰胶砂富余量大于 100%时,由于集料完全处于悬浮状态,此时骨架面积对测试结果的影响随之降低。因此,计算值与测试值间差值也表现出增加趋势。

2.3 干涉程度与骨架状态关系分析

为了揭示富余量与骨架面积指数间的关系,考虑到表 2 中相同富余量下修正骨架面积指数较为接近,将表 2 中与 3 种典型方案相同富余量对应的骨架面积指数取均值,作为该富余量下修正骨架面积指数,据此可以得到二灰胶砂富余量与骨架面积修正指数之间的关系曲线,如表 3、图 4(见下页)所示。

表 3 二灰胶砂富余量与骨架面积修正指数

二灰胶砂富余量/%	0	50	100	150
I_{Gx} (均值)	0.306	0.281	0.276	0.161

由图 4 可见,虽然上述方案集料级配、混合料配比差别较大,但 I_{Gx} 随着干涉程度的不同发生改变。当二灰胶砂富余量介于 50%~100%时, I_{Gx} 介于 0.276~0.281,富余量增加了 50%, I_{Gx} 仅增加了 4.9%,曲线最为平缓且数据均匀稳定。因此,当富余量介于该范围时,认为 I_{Gx} 为一固定值,该值为范围中值,即 0.279。这表明在此范围内,因为干涉等造成的误差最小,因此可以采用 I_{Gx} 评价骨架状态。

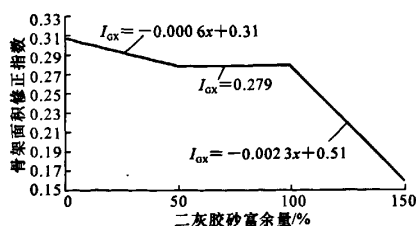


图4 二灰胶砂富余量与骨架面积修正指数关系曲线

由图4可以得到二灰胶砂富余量与骨架面积修正指数公式为

$$I_{GX} = \begin{cases} -0.0006x + 0.31 & x < 50\% \\ 0.279 & 50 < x < 100\% \\ -0.0023x + 0.51 & x > 100\% \end{cases} \quad (9)$$

式中: x 为二灰胶砂富余量(%).

根据式(9),可以计算出不同干涉程度下 I_{GX} .在实际验证富余量时,只需将骨架面积指数与骨架面积修正指数值相加就可得出理论骨架面积指数,进而判断其路用性能.

3 结 语

(1)提出了平均粒径间距概念,用于反映二灰砂砾混合料中粗集料理论排列状态;提出了骨架面积指数指标,用于评价有干涉状态下的二灰砂砾混合料骨架状态.

(2)骨架面积指数与二灰胶砂富余量间有着良好的线性关系,考虑到胶砂富余量和混合料使用性能密切相关,说明该参数和混合料使用性能间具有显著的相关性;此外,该指标测试方法简单易行,数据直观,因此,将其作为有干涉状态下骨架状态评价参数.

(3)二灰胶砂富余量与骨架面积修正指数关系表明,随着富余量的改变,骨架面积修正指数随之发生变化,当富余量介于50%~100%时,因为干涉产生的骨架面积修正指数为一恒定值;这说明,此时因为干涉造成的骨架状态偏差最小,即当二灰胶砂富余量介于50%~100%时,可以采用骨架面积指数评价有干涉状态的二灰砂砾混合料的骨架状态.

参考文献:

References:

- [1] 李炜光,申爱琴,张玉斌.二灰碎石抗裂级配与应用[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(6):7-10.
- LI Wei-guang, SHEN Ai-qin, ZHANG Yu-bin. Anti-

cracking capability of lime-fly-ash stone [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 7-10.

- [2] 李炜光,申爱琴,张玉斌.二灰稳定集料抗裂性能评价与应用[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(2): 1-5.
- LI Wei-guang, SHEN Ai-qin, ZHANG Yu-bin. Anti-cracking capability of lime-fly-ash-stabilized-aggregate in road base [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(2): 1-5.
- [3] 吴传海,袁玉卿,郑南翔,等.二灰碎石基层材料的合理结合料质量分数[J].长安大学学报:自然科学版, 2007, 27(2): 6-11.
- WU Chuan-hai, YUAN Yu-qing, ZHENG Nan-xiang, et al. Optimal volume content of binder in lime-fly-ash-stabilized aggregate [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(2): 6-11.
- [4] 周晓龙.嵌挤骨架式二灰碎石基层的研究与工程实践[C]//周晓龙.中国公路学会第3届国际道路和机场路面技术大会论文集.北京:华杰出版社,1998:135-138.
- [5] 冯瑞玲,王园,谢永利.粗粒土振动压实特性试验[J].中国公路学报,2007,20(5):19-23.
- FENG Rui-ling, WANG Yuan, XIE Yong-li. Test on vibrated compaction properties of coarse-grained soil [J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(5): 19-23.
- [6] 蒋建平,罗国煜,高广运.粘性土变形和强度参数分析[J].交通运输工程学报,2007,7(6):76-79.
- JIANG Jian-ping, LUO Guo-yu, GAO Guang-yun. Analysis of deformation and strength parameters for cohesive clay [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(6): 76-79.
- [7] 李炜光.二灰砂砾组成设计、路用性能评价及工程特性研究[D].西安:长安大学,2007.
- [8] 申爱琴,李炜光.二灰砂砾基层综合路用性能及配比研究[R].西安:长安大学,2004.
- [9] 徐定华.混凝土材料科学概论[M].北京:中国标准出版社,2001.
- [10] Akoto B K A. Effect of flyash on the strength characteristics of lime-literate soil mixtures [J]. Australian Road Research, 1988, 18(4): 224-231.
- [11] 严家俊.道路建筑材料[M].3版.北京:人民交通出版社,1998.
- [12] JTJ 057-94.公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].