

沥青混合料矿料强嵌挤结构研究

张 毅^{1,2}, 蒋应军¹, 杨秋侠³

(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. 陕西省交通厅基本建设工程质量监督站, 陕西 西安 710075; 3. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:为了优化矿料级配、提高沥青混合料性能,应用 PFC^{2D} 构建了加州承载比(CBR)的数值试验方法,并验证了其可靠性;基于数值试验分析了合成粗集料 CBR 变化规律和基于性能最优提出了 AC-16 型沥青混合料强嵌挤骨架密实级配,并对其力学性能进行室内试验验证. 结果表明:13.2~19 mm 集料构成了具有强嵌挤力的主骨架结构,9.5~13.2 mm 集料和 4.75~9.5 mm 集料具有填充主骨架空隙或干涉主骨架结构的作用,基于 CBR 最大原则的 13.2~19 mm 集料、9.5~13.2 mm 集料和 4.75~9.5 mm 集料 3 种规格粗集料的最佳质量比为 45:35:20,基于性能最优的粗细集料比例为 55:45~65:35;与规范级配相比,提出的强嵌挤骨架密实级配沥青混合料抗压强度、劈裂强度和动稳定度分别提高了 26%~28%、20%~30% 和 22%~27%. 成果可供工程实践参考.

关键词:道路工程;沥青混合料;强嵌挤骨架密实级配;颗粒流;加州承载比;路用性能

中图分类号:U414

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2013)02-0185-07

理论与实践证明^[1-5],骨架密实级配沥青混合料具有良好路用性能. 目前,通常采用物理状态定性评价骨架密实级配,更多采用以密度为指标的逐级填充试验方法优化矿料级配. 逐级填充方法难以充分考虑不同规格集料之间的相互影响,密度指标无法直接反映矿料骨架嵌挤力,这影响了优化结果^[1-5]. 矿料为典型颗粒性,研究矿料级配组成与嵌挤力之间规律,是矿料级配优化基础. 考虑到加州承载比(CBR)可反映材料嵌挤强度,因此,论文采用 CBR 指标优化矿料强嵌挤骨架密实级配. 然而,通过室内 CBR 试验优化,需要大量试验才能得粗集料组成结构对嵌挤力的影响规律,且 CBR 测试过程繁杂,从而使级配优化过程冗长. 近年来,颗粒流数值模拟技术发展迅速,其中以 PFC^{2D} 为代表的软件广泛应用于具有颗粒特性材料的工程特性研究^[8-11],这为矿料力学特性及强嵌挤级配研究提供强有力的工具.

基于此,本文采用 PFC^{2D} 件实现了矿料 CBR 的数值试验方法,在可靠性验证的基础上,以 AC-16 型沥青混合料为对象,研究了合成粗集料 CBR 变化规律、粗细集料比例对混合料性能影响规律,进而提出 AC-16 型沥青混合料强嵌挤骨架密实级配,并进行路用性能验证.

1 原材料

(1)沥青 采用 SBS I-C 类改性沥青,其技术性质见表 1.

表 1 SBS 改性沥青技术性质

Tab. 1 Technical properties of SBS modified asphalt

试验指标	试验结果	规范要求
针入度(25℃,5s,100g)(0.1mm)	69	60~80
针入度指数 PI	-0.03	≥-0.4
软化点(环球法)/℃	57.5	≥55
135℃运动粘度/Pa·s	1.3	≤3
延度(5℃,5cm/min)/cm	31	≥30
弹性恢复(25℃)/%	87	≥65
闪点/℃	266	≥230
溶解度/%	99.32	≥99
密度(15℃)/g·cm ⁻³	1.01	实测
离析,48 h 软化点差/℃	1.1	≤2.5
质量损失/%	-0.09	≤1.0
薄膜加热试验		
针入度比/%	63.7	≥60
残留延度(5℃)/cm	26.9	≥20

收稿日期:2012-07-26 修改稿日期:2013-03-21

基金项目:交通运输行业联合科技攻关资助项目(2010-353-361-300);长安大学基础研究支持计划专项基金资助(CHD2011ZY007);西安建筑科技大学陕西省教育厅资助项目(11JK0892)

作者简介:张 毅(1969-),男,陕西高陵人,正高工,博士研究生,主要从事道路工程质量监督与科研工作.

(2)粗集料 河南淇县石料厂的石灰岩粗集料,其技术性质见表 2.

(3)细集料 河南淇县的机制砂,其表观密度见表 3.

(4)矿粉 矿粉技术指标见表 4.

表 2 粗集料的技术性质

Tab. 2 Technical properties of coarse aggregate

集料规格/mm	表观密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	吸水率/%	针片状含量/%	压碎值/%	磨耗值/%	与沥青粘附性
19~16	2.730	0.27	11.8			
16~13.2	2.725	0.45	19.2	22.8	20	5
13.2~9.5	2.730	0.45	14.2			
9.5~4.75	2.732	0.58	6			

表 3 细集料的表观密度

Tab. 3 Apparent density of fine aggregate

集料规格/mm	4.75~2.36	2.36~1.18	1.18~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.075
表观密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	2.729	2.73	2.726	2.729	2.715	2.733

表 4 矿粉技术性质

Tab. 4 Technical properties of mineral filler

指标	表观密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	亲水系数	塑性指数/%	外观	加热安定性
测试值	2.79	0.79	<2.1	无固粒结块	实测记录
规范值	≥ 2.5	<0.8	<4	无固粒结块	颜色无变化

2 基于 CBR 的粗集料强嵌挤骨架级配

2.1 CBR 数值试验方法

2.1.1 物理模型的构建

(1)试模的生成:利用命令 wall 生成一片水平墙体 a 和两片竖直墙体 b 、 c ,墙体所围成的区域为试模尺寸;在试模内随机生成各规格集料颗粒,并通过监测生成各规格颗粒的面积控制级配;

(2)级配矿料的生成:利用命令 ball 在试模内生成集料颗粒,并通过监测生成颗粒的面积控制相应规格集料的用量,以达到目标级配;

(3)模拟试件的成型:将顶面的水平墙体(之后简称“模拟压板”)以恒定速率竖直向下推动,以压实试模内的集料颗粒,直至试件高度符合要求,压实成型后的模拟试件如图 1 所示.模拟试件直径 \times 高度为 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$.

2.1.2 力学模型的构建

(1)接触本构模型选取 考虑到矿料具有颗粒性结构特征和非线性力学特性,故采用 Hertz 刚度模型和滑动模型描述矿料接触本构关系.

Hertz 刚度模型是基于 Hertz 和 Mindlin-Deresiewicz 理论得出的一种非线性的接触模型^[4],通过泊松比 ν 、剪切模量 G 定义,在该模型下颗粒间力学关系通过法向割线刚度 K_n 和切向切线刚度 K_s 计算,其表达式如式(1)和式(2)所示.

$$K_n = \left[\frac{2G\sqrt{2R}}{3(1-\nu)} \right] \sqrt{U} \quad K_s = \left\{ \frac{2[3G^2(1-\nu)\bar{R}]^{1/3}}{2-\nu} \right\} |F_m|^{1/3} \quad (1)$$

式中: U 为颗粒接触重叠量; F_m 为法向接触力; \bar{R} 为任意两接触颗粒的平均半径.

滑动模型通过摩擦系数 μ 定义,如式(2)所示.

$$F_s = \mu |F_m| \quad (2)$$

式中: F_s 为滑动摩擦力; μ 为摩擦系数; F_m 为法向接触力.

因此,描述矿料颗粒流模型的微力学参数有泊松比 ν 、剪切模量 G 和摩擦系数 μ .

(2)力学模型的生成 利用命令 prop 赋予模拟试件以微力学参数,生成力学模型.微力学参数可通

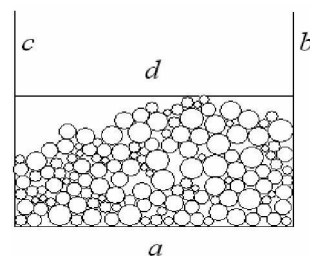


图 1 振密前集料模型

Fig. 1 Aggregates model before vibro-compaction

过室内试验结果予以标定,标定的微力学参数能够反映试验条件、集料特性和含水量等因素对力学性能的影响.除了实测的集料密度,本文关于矿料 CBR 数值模拟所采用的微力学参数有 ν 、 μ 和 G .

2.1.3 加载过程的模拟

(1)试验条件的模拟 将图 2 中振密集料模型移除墙体 d ,并生成刚性墙体 r_1 、 r_2 用于模拟压板,生成刚性墙体 r_3 、 r_4 、 r_5 用于模拟压头,如图 3 所示.压头直径按规范要求确定为 $\Phi 5\text{cm}$.

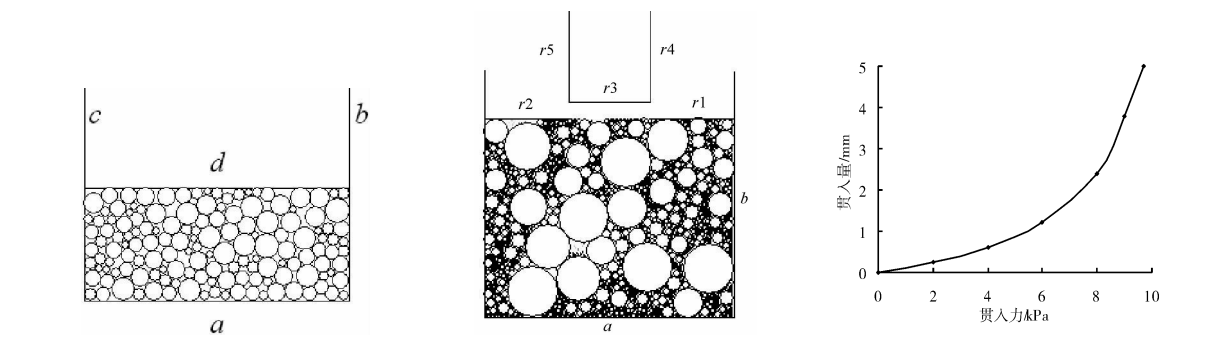


图 2 振密后集料模型
Fig.2 Aggregates model after vibro-compaction

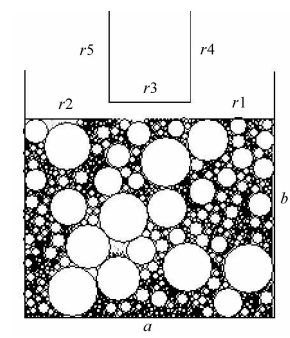


图 3 CBR 试验虚拟试件
Fig.3 Virtual specimen of CBR test

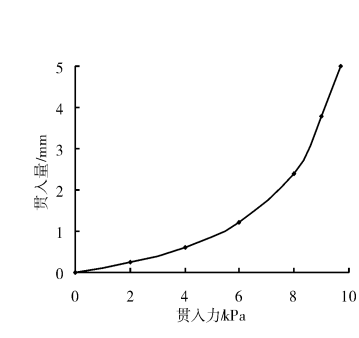


图 4 CBR 试验数值模拟结果
Fig.4 Numerical simulation results of CBR test

(2)加载过程的模拟 竖直推动墙体 r_3 、 r_4 、 r_5 模拟压头贯入试件的过程,同时监测墙体 r_3 的位移和接触力.当模拟压头作用于集料模型表面后,便可得到如图 4 的压头贯入量与贯入力的关系曲线.

(3)模拟结果的处理 从图 4 的关系曲线中分别读取压头贯入量为 2.5 mm 和 5.0 mm 时所对应的贯入力,计算 CBR 值.

2.1.4 可靠性验证

(1)微力学参数 根据室内 3 组级配碎石实测 CBR,反演获取的微力学参数见表 5.

表 5 微力学参数

Tab.5 Micro-mechanics parameters		
泊松比	剪切模量/GPa	摩擦系数
0.25	9.5	0.4

(2)数值模拟的可靠性 表 6 给出了 CBR 模拟结果与实测结果的对比,可以看出模拟效果良好.

表 6 室内试验结果与数值模拟结果的对比
Tab.6 Laboratory results and numerical results

编号	通过下列筛孔/mm 的质量百分率/%							实测值/%	模拟值/%	误差/%
	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075			
A	100	64	52	40	30	17	7	595	627	5.37
B	100	61	48	35	30	22	13	518	552	6.56
C	100	61	48	35	26	15	6	655	676	3.21
D	100	58	44	30	24	15	8	657	688	4.72

2.2 合成粗集料 CBR 规律

13.2~19 mm 集料(D_1)、9.5~13.2 mm 集料(D_2)和 4.75~9.5 mm 集料(D_3)的总用量为 100%,以 10%步长变化三者质量分数组成合成粗集料 CBR 变化规律见图 5.

从图 5 中可看出:当 D_1 质量分数 $<40\%$ 时, D_1 悬浮于 D_2 和 D_3 ,无法构成主骨架结构;当 D_1 质量分数 $>50\%$ 后, D_2 、 D_3 无法充分填充 D_1 形成主骨架空隙.因而,这两种结构状态下合成粗集料 CBR 值普遍都较低;当 D_1 质量分数在 $40\% \sim 50\%$ 时, D_1 构成主骨架, D_2 和 D_3 充分填充于 D_1 形成主骨架空隙中并形成次骨架结构,故 CBR 值较大;合成粗集料 CBR 值随 D_3 质量分数增加呈先增大后降低趋势,出现 CBR 峰值时的 D_3 质量分数约为 20%,表明 D_3 具

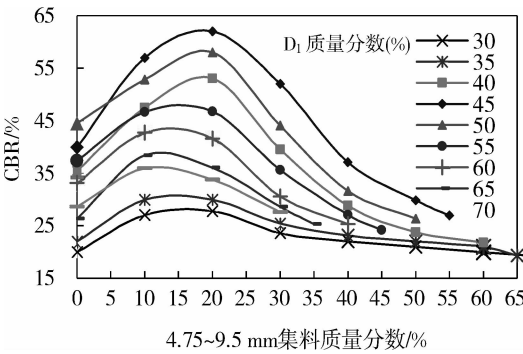


图 5 合成粗集料的 CBR 规律
Fig.5 CBR Laws on synthetic coarse aggregates

有填充作用和干涉作用。

以 CBR 最大为标准确定 13.2~19 mm 集料、9.5~13.2 mm 集料和 4.75~9.5 mm 集料三种规格粗集料的最佳质量分数比例为 45:35:20。

3 基于 Taibol 方法细集料级配

粗集料形成混合料的骨架,细集料填充粗集料骨架形成密实结构,以提高沥青混合料结构强度,并增强抗水损能力和耐久性。细集料级配对混合料的体积参数及力学强度有着重要的影响,特别是空隙率。

泰波(Taibol)以密度最大原则建立的级配理论,可确保细集料空隙率最小。Taibol 公式见式(3):

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^n \times 100\% \quad (3)$$

式中: P 为粒径为 d 的通过百分率; D 为矿质混合料的最大粒径; n 为试验指数。

已有研究表明^[4,7,12], $n=0.45$ 时细集料可形成密度最大。因此,本文细集料级配采用 $n=0.45$ 对应级配,见表 7。

表 7 细集料级配($n=0.45$)

Tab. 7 The gradation of fine aggregate($n=0.45$)

筛孔尺寸/mm	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
质量通过百分率/%	100	73	53	39	29	21	15

4 AC-16 沥青混合料强嵌挤骨架密实级配

4.1 矿料级配拟定及最佳油石比

粗集料级配采用 13.2~19 mm 集料:9.5~13.2 mm 集料:4.75~9.5 mm 集料最佳质量比为 45:35:20,细集料级配采用表 7。拟定粗细集料质量比例为 55:45、60:40、65:35、70:30、75:25,见表 8。

表 8 拟定级配与规范级配

Tab. 8 The gradation in the study and gradation in the specification^[14]

级配类型	粗细集料比例	代号	通过下列筛孔孔径/mm 的质量百分率/%									
			19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
拟定级配	55:45	N45	100	95	72.3	56	45	33	24	18	13.0	10
	60:40	N40	100	95	70.0	52	40	29	21	16	11.5	8
	65:35	N35	100	95	65.5	46	35	26	19	14	10.0	7
	70:30	N30	100	95	68.5	44	30	22	16	12	9.0	6
	75:25	N25	100	95	66.3	40	25	18	13	10	7.0	5
规范级配		GF	100	95	84	70	48	34	24.5	17.5	12.5	9.5

表 8 中 6 种级配沥青混合料最佳油石比及马歇尔试件体积参数见表 9。

表 9 表明,6 组级配沥青混合料体积参数基本相近。

表 9 沥青混合料体积参数

Tab. 9 Volumetric parameters in asphalt mixture

级配类型	最佳油石比/%	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	空隙率/VV/%	矿料间隙率/VMA/%	沥青饱和度/VFA/%
N45	4.40	2.453	3.19	13.43	76.21
N40	4.30	2.449	3.40	13.40	74.60
N35	4.26	2.450	3.38	13.29	74.58
N30	4.18	2.448	3.56	13.29	73.18
N25	4.00	2.446	3.73	13.06	71.45
GF	4.21	2.454	3.42	13.24	74.15

4.2 路用性能

(1) 力学强度

6 组级配沥青混合料马歇尔试件抗压强度和劈裂强度分别见表 10~表 11。

表 10~表 11 中数据表明:本文 5 组级配沥青混合料抗压强度、劈裂强度分别为规范级配沥青混合料的 1.21~1.28 倍和 1.10~1.30 倍,其中 N45、N40 和 N35 级配沥青混合料力学强度最好。

表 10 6 组级配沥青混合料抗压强度及其与规范级配强度比值

Tab. 10 The compressive strength of 6 groups of grading asphalt mix and the ratio of their and gradation in the specification

温度 /℃	下列级配沥青混合料的抗压强度/MPa						下列级配沥青混合料抗压强度与规范级配强度比值					
	N45	N40	N35	N30	N25	GF	N45	N40	N35	N30	N25	GF
5	19	19	18.8	18.6	18.6	16.4	1.16	1.16	1.15	1.13	1.13	1
15	16.1	16.3	15.7	15.6	15.5	13.2	1.22	1.23	1.19	1.18	1.17	1
25	9.6	10.3	9.7	9.6	9.1	6.8	1.41	1.51	1.43	1.41	1.34	1
35	6.9	7.3	7.0	6.7	7.0	5.4	1.28	1.35	1.30	1.24	1.30	1
45	6.2	5.22	5.7	5.5	5.0	4.6	1.35	1.13	1.24	1.20	1.09	1
	平均值						1.28	1.28	1.26	1.23	1.21	1.00

表 11 6 组级配沥青混合料劈裂强度及其与规范级配强度比值

Tab. 11 The splitting strength of 6 groups of grading asphalt mix and the ratio of their and gradation in the Specification

温度 /℃	下列级配沥青混合料的劈裂强度/MPa						下列级配沥青混合料劈裂强度与规范级配强度比值					
	N45	N40	N35	N30	N25	GF	N45	N40	N35	N30	N25	GF
5	3.6	3.72	3.54	3.5	3.34	3.07	1.17	1.21	1.15	1.14	1.09	1
15	2.01	2.19	2.0	1.9	1.89	1.62	1.24	1.35	1.23	1.17	1.17	1
25	0.92	1.14	1.05	1.02	0.87	0.75	1.23	1.52	1.40	1.36	1.16	1
35	0.74	0.76	0.68	0.65	0.63	0.6	1.23	1.27	1.13	1.08	1.05	1
45	0.58	0.59	0.58	0.54	0.52	0.51	1.14	1.16	1.14	1.06	1.02	1
	平均值						1.20	1.30	1.21	1.16	1.10	1.00

(2)抗车辙性能

6 组级配沥青混合料动稳定度见表 12.

表 12 中表明,本文 5 组级配沥青混合料动稳定度为规范级配沥青混合料的 1.04~1.27 倍,其中 N45、N40 和 N35 级配沥青混合料动稳定度比规范级配大 1.22~1.27 倍.

4.3 强嵌挤骨架密实级配

综上所述,N45、N40 和 N35 级配沥青混合料具有较好路用性能,并结合实体工程应用情况,提出 AC-16 型沥青混合料强嵌挤骨架密实级配,见表 13.

表 12 6 组级配沥青混合料动稳定度

Tab. 12 The dynamic stability of
6 groups of grading asphalt mix

级配 类型	\overline{DS} /次·min ⁻¹	S /次·min ⁻¹	Cv /%	与规范级配动 稳定度比值
GF	4 705	101.5	2.15	1.0
N45	5 873	190.0	3.60	1.25
N40	5 969	192.3	3.45	1.27
N35	5 717	176.4	3.32	1.22
N30	5 012	183.2	3.66	1.07
N25	4 915	268.0	5.45	1.04

表 13 AC-16 沥青混合料强嵌挤骨架密实级配

Tab. 13 Strong aggregate interlocking structure of AC-16

筛孔孔径/mm	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过百分率/%	100	90~100	66~72	46~56	35~45	26~34	18~24	12~18	8~14	6~10	4~8

5 结 语

(1)应用 PFC^{2D}构建了矿料 CBR 数值试验方法,并以河南淇县石灰岩集料为对象进行可靠性验证.结果表明,数值模拟结果与室内实测结果之间误差不超过 7%,证明标定微力学参数能够反映试验条件、集料特性和含水量等因素对力学性能的影响,矿料 CBR 数值试验方法是可靠的;

(2)基于 CBR 数值试验方法研究了合成粗集料 CBR 规律.结果表明:13.2~19 mm 集料构成了具有强嵌挤力的主骨架结构,其最佳质量分数为 40 %~50 %;9.5~13.2 mm 集料和 4.75~9.5 mm 集料具有填充主骨架空隙或干涉主骨架结构的作用,其中 4.75~9.5 mm 集料的最佳质量分数为 15 %~25 %.以 CBR 最大为标准,确定 13.2~19 mm 集料:9.5~13.2 mm 集料:4.75~9.5 mm 集料=45 :

35 : 20.

(3)研究粗细集料比对沥青混合料性能影响.结果表明:粗细集料比例为 55 : 45、60 : 40 和 65 : 35 时沥青混合料抗压强度、劈裂强度和动稳定度分别为规范级配的 1.26~1.28 倍、1.20~1.30 倍和 1.22~1.27 倍.在此基础上,提出 AC-16 沥青混合料强嵌挤骨架密实级配.

参考文献 References

- [1] ANDERSON R M, BAHIA H U. Evaluation and selection of aggregate gradations for asphalt mixtures using superpave Transportation Research Record 10. 3141/1583-11[R]. Washington DC: Transportation Research Board of the National Academies, 1997: 91-97.
- [2] VAVRIK W R. Asphalt mixture design concepts to develop aggregate interlock[D]. Urbana-Champaign: University of Illinois, 2000.
- [3] NAGA S, GOPALAKRISHNAN K. Evaluating the aggregate structure in hot-mix asphalt using three-dimensional computer modeling and particle packing simulations[J]. Can J Civil Eng, 2006(33):945-54.
- [4] 陈忠达, 袁万杰, 高春海. 多级嵌挤密实级配设计方法研究[J]. 中国公路学报, 2006, 19(1): 32-37.
CHEN Zhong-da, YUAN Wan-jie, GAO Chun-hai. Research on design method of multilevel dense built-in gradation[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(1):32-37.
- [5] 蒋应军. 骨架密实型水泥粉煤灰碎石组成设计与路用性能[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2008, 28(5):1-4.
JIANG Ying-jun. Road performance and composition design of cement-ash-stabilized aggregate of dense framework structure[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(5):1-4.
- [6] 蒋应军. 多级嵌挤骨架密实二灰碎石组成设计方法研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版, 2010, 29(5):732-736.
JIANG Ying-jun. Mix design method for lime-fly-ash-stabilized aggregate of multilevel dense built-in grading structure[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science Edition, 2010, 29(5):732-736.
- [7] 吴传海. 基于贝雷法的逐段填充对混合矿料骨架特性影响分析[J]. 公路, 2010(7):161-167.
WU Chuan-hai. Analysis on stage filling influence the combined mineral skeleton properties based on baley method [J]. Highway, 2010(7):161-167.
- [8] 王端宜, 赵 熙. 沥青混合料单轴压缩试验的离散元仿真[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2009, 37(7):37-40.
WANG Duan-yi, ZHAO Xi. Simulation of uniaxial compression test for asphalt mixture with discrete element method[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2009(7):37-40.
- [9] 周 健, 王家全, 曾 远, 等. 土坡稳定分析的颗粒流模拟[J]. 岩土力学, 2009, 30(1):86-90.
ZHOU Jian, WANG Jia-quan, ZENG Yuan, et al. Simulation of slope stability analysis by particle flow code[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(1):86-90.
- [10] POTYONDY D O, CUNDALL P A. A bonded-particle model for rock[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2004(41):1329-1364.
- [11] WATERS J F, Lee S, GUDURU P R. Mechanics of axisymmetric wavy surface adhesion: JKR-DMT transition solution[J]. International Journal of Solids and Structures, 2009(46): 1033-1042.
- [12] 李 颀. 基于振动法的级配碎石设计标准与设计方法研究[D]. 西安:长安大学, 2010.
LI Di. Research on graded broken stone design standard and design method based on vibrating compaction[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [13] ANTONY S J, MATTHEW R K. Influence of particle shape on granular contact signatures and shear strength: new insights from simulations[J]. Int J Solids Struct, 2004(41):5863-5870.
- [14] 中交公路科学研究所. JTG F40—2004 公路沥青路面施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社, 2007.
Research Institute of Highway Ministry of Transport. JTG F40—2004 Technical specification for construction of highway asphalt pavements[S]. Beijing: China Communications Press, 2007.

Strong aggregate interlocking structure in asphalt mixture

ZHANG Yi^{1,2}, JIANG Ying-jun¹, YANG Qiu-xia³

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

Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Quality Supervision Station of Shaanxi Provincial Communications Department, Xi'an 710075, China;

3. Civil Engineering College of Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710075, China)

Abstract: In order to optimize the aggregate gradation and improve the performance of asphalt mixture, a numerical test method based on the particle flow modeling was developed for the California Bearing Ratio (CBR) test and was proved to be reliable. The CBR laws of aggregate were analyzed based on the numerical simulation, and the Strong Aggregate Interlocking Structure (SAIS) was developed according to optimal performance of AC-16 asphalt mixture. The road performance of SAIS asphalt mix were studied and the results indicate that 13.2~19 mm aggregates are the main skeleton with SAIS, while the proper amount 9.5~13.2 mm aggregates and 4.75~9.5 mm aggregates provide a properly packed aggregate skeleton structure; the optimal ratio of the three types of aggregates (13.2~19 mm, 9.5~13.2 mm, 4.75~9.5 mm) is 45 : 35 : 20 by mass. Upon the maximum CBR principle, and the ratio of coarse aggregate and fine aggregate is 55 : 45~65 : 35 based on optimal performance of asphalt mixture. Compared with aggregate gradation in specifications, SAIS asphalt composite is superior in terms of compressive strength, splitting strength and dynamic stability, which are enhanced by 26%~28%, 20%~30% and 22%~27% respectively. The achievement of this study can be used as reference in practice.

Key words: road engineering; asphalt mixture; strong aggregate interlocking structure; particle flow code; california bearing ratio; road performance

Biography: ZHANG Yi, Senior engineer, Candidate for Ph. D., Xi'an 710064, P. R. China, Tel: 0086-13359215488, E-mail: 519885641@qq.com

(上接第 157 页)

Research on round-ended plate pier aseismic performance of passenger dedicated railway line considering soil-structure interaction

ZHU Xi¹, JIANG Cheng², LI Yu³, ZHANG Kai¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044 China;

2. CCCC Railway Consultants, LTD, Beijing 100088 China;

3. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064 China)

Abstract: Round-ended plate pier is one of the most popular forms used in Chinese passenger dedicated railway line PDRL hereafter. It is well known that China is a country with much active earthquake. Studying the seismic behavior of this pier has a lot of theoretical significance and practical value. By taking round-ended plate piers of PDRL as the research object, this paper introduces the improved equivalent linearization method recommended by FEMA440 and the application procedure of considering SSI based on capacity spectrum method reviewing the research of SSI at home and abroad, with discussion on the differences of the analytical results between the nonlinear time-history analysis and the capacity spectrum method. Results indicate that this method is suitable for the displacement-based seismic design method, the soft soil will increase the role of the SSI, and the seismic energy dissipation will also be increased.

Key words: passenger dedicated railway line; soil-Structure interaction; time-history analysis; capacity spectrum method; round-ended plate piers

Biography: ZHU Xi, Professor, Beijing 10044, P. R. China, Tel: 0086-13810455370, E-mail: xzhu@center.njtu.edu.cn